

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Analýza životností tvářecích nástrojů při různých
povrchových úpravách**

**Service Life Analysis of Forming Tools by Several
Surface Treatment**

Student:

Bc. Petr Žuk

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Žuk**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Analýza životnosti tvářecích nástrojů při různých povrchových úpravách**
Service Life Analysis of Forming Tools by Several Surface Treatment

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávající technologie zápusťového kování dveřního závěsu.
2. Návrh variant povrchových úprav funkčních dutin zápusťky.
3. Analýza hlavních parametrů zatížení a opotřebení zápusťky.
4. Vyhodnocení životnosti kovací zápusťky pro varianty povrchových úprav.
5. Diskuse získaných výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


HENZEL, A., SPITTEL, T. *Rasčet energosilových parametrov v processach obrabotki metallov davleniem*. Moskva: METALLURGIJA, 1982. s. 73
BÁLEK, S. *Tepelně technické tabulky a diagramy*. Ostrava: VŠB, 1979, 137 s.
PETRUŽELKA, J. aj. *Metoda konečných prvků ve tváření za tepla*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1998, ISBN 80-7078-636-1.
AVITZUR, B. *Handbook of Metal-Forming Processes*. New York: John Wiley and Sons, 1983
SEMIATIN, S. L. a kol. *Metals Handbook Ninth Edition. Vol. 14, Forming and Forging*. Ohio, Metals Park: ASM International, 1998


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011
Datum odevzdání: 21.05.2012




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.05.2012



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě, 23. května 2012

Bc. Žuk Petr

Horní Tošanovice 77

739 53 HNOJNÍK


.....
podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Žuk, P. Analýza životností tvářecích nástrojů při různých povrchových úpravách. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 52 s. Diplomová práce, vedoucí: Hrubý, J.

Diplomová práce se zabývá problematikou zvýšení životností tvářecích nástrojů zápusťkového kování. Na výpočetních simulacích provedeny napěťové stavy nástrojů zápusťky, při použití několika variant úpravy nástroje. V závěru proveden rozbor získaných hodnot.

ANNOTATION OF THESIS

Žuk, P. Service Life Analysis of Forming Tools by Several Surface Treatment. Ostrava: Mechanical Technology Department, VŠB – Technical University of Ostrava, 2008, 52 p. Thesis, head: Hruby, J.

This thesis deals with the problems forming lasting increase in drop forging tools. The computer simulations carried out voltage becomes a tool dies, using several variants of the instrument. In conclusion, the values obtained are analyzed.

Obsah:

1.	ÚVOD	- 8 -
2.	ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	- 13 -
2.1.	Zásady konstrukce výkovku	- 14 -
2.2.	Kování na bucharech	- 16 -
2.3.	Zápusťkové kování na svislých lisech	- 19 -
2.4.	Zápusťkové kování na vřetenových lisech	- 21 -
2.5.	Zápusťkové kování na hydraulických lisech	- 22 -
3.	ZÁPUSTKOVÉ MATERIÁLY	- 23 -
3.1.	Optimalizace konstrukčního řešení	- 25 -
3.2.	Volba odolných materiálu zápusťtek	- 26 -
3.3.	Tepelné zpracování zápusťky	- 27 -
3.4.	Uplatnění povrchových úprav	- 28 -
3.5.	Renovace nástroje	- 29 -
4.	ÚDRŽBA A ŽIVOTNOST ZÁPUSTEK	- 29 -
4.1.	Vložkování zápusťtek	- 29 -
4.2.	Mazání zápusťtek	- 30 -
4.3.	Chlazení zápusťtek	- 30 -
4.4.	Stávající způsoby zvyšování životnosti zápusťtek	- 30 -
5.	METODA KONEČNÝCH PRVKŮ	- 33 -
5.1.	Diskretizace	- 33 -
5.2.	Aproximační funkce	- 34 -
5.3.	Interpolace	- 36 -
6.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	- 36 -
6.1.	Zápusťka volná, nearmovaná	- 39 -
6.2.	Zápusťka armovaná – bandážovaná, s předpětím	- 43 -
6.3.	Zápusťka armovaná, povlakovaná PVD	- 46 -
6.4.	Vyhodnocení dosažených výsledků	- 49 -
8.	ZÁVĚR	- 51 -
	Seznam použitých pramenů	- 52 -

Seznam použitého značení

Symbol	Název, vysvětlení	Jednotky
ČSN	Česká státní norma	
EN	Evropská norma	
MKP	Metoda konečných prvků	
apod.	a podobně	
atd.	a tak dále	
č.	číslo	
kv.	kvadrát	
min.	minimální	
max.	maximální	
např.	například	
obr.	obrázek	
s.	počet stran	
tj.	to jest	
tzn.	to znamená	
tzv.	tak zvané	
viz.	lze vidět, k vidění	
v	rychlost	[m.s ⁻¹]
V	objem	[mm ³]
l	délka	[mm]
S	obsah	[mm ²]
d	průměr	[mm]
F	síla	[N]
α	úhel natočení kliky	[°]
A	práce	[N.m]
t	teplota	[°C]
ΔL	délkové prodloužení	[mm]
p	kontaktní tlak	[MPa]
σ ⁻	efektivní napětí	[MPa]
DU	dolní úvrat' klikového mechanismu	
HU	horní úvrat' klikového mechanismu	
PVD	fyzikální povlakování	
CVD	chemické povlakování	
MIG	obloukové svařování v inertním plynu	
MAG	obloukové svařování v aktivním plynu	
FEM	metoda konečných prvků	

1. ÚVOD

Kování patří k nejvíce používanému způsobu tváření za tepla. Kováním získáme tvary požadovaných rozměrů a zároveň lepší mechanické vlastnosti prokováním.

Prokováním odstraníme hrubou strukturu materiálu a případné vady – jejich vlivem dochází ke zhoršování mechanických vlastností.

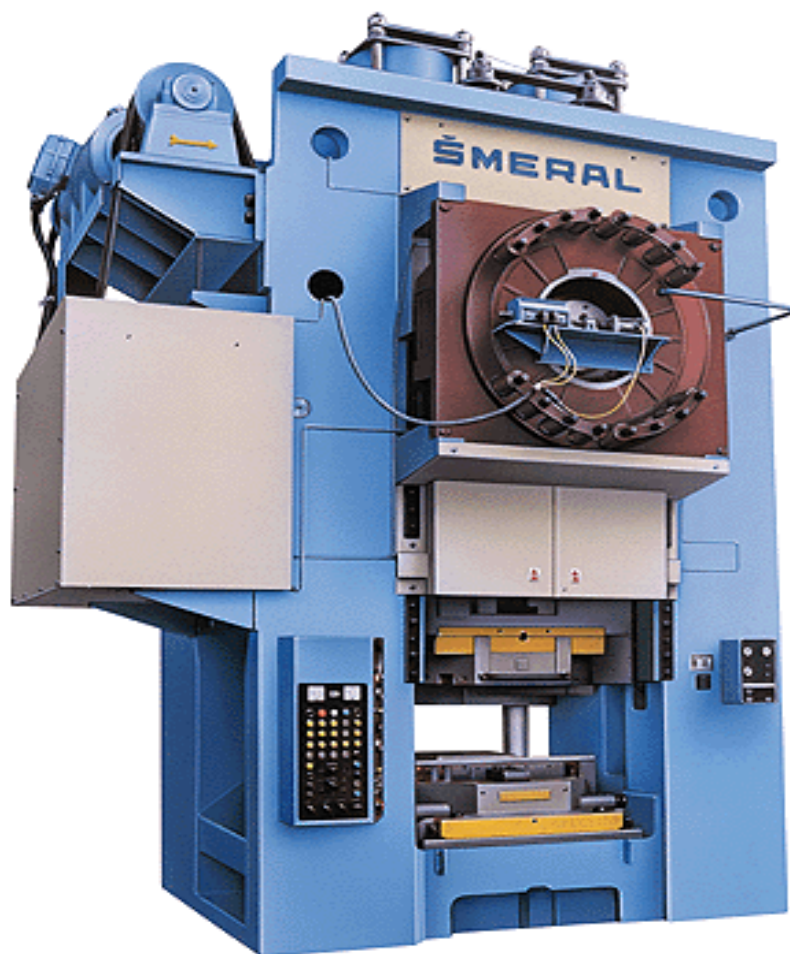
Materiál se při kování ohřívá na nejvyšší možnou kovací teplotu, to nám umožňuje používat menší tvářecí síly. Konečným výrobkem kování je výkovek. Kování dělíme podle způsobu práce na ruční a strojní.

Hlavními výhodami kování je menší spotřeba materiálu, optimální přesnost výkovku, vysoká jakost tvářeného kovu a náklady spojené s výrobou součástí.

Kovat lze téměř všechny tvárné kovy a jejich slitiny. Nejčastěji se používají oceli a neželezné kovy jako jsou měď, hliník, titan a jejich slitiny. Pro neželezné kovy a jejich slitiny platí stejné zásady jako u kování ocelí.

Stroje nám ulehčují namáhavou a těžkou práci. Zrychlují výrobu a tím je zvýšena i produktivita práce. Pomocí strojního kování můžeme vyrábět velmi těžké výkovky (v tunách). Strojní kování dělíme na volné a zápusťkové.

LISY - působí na materiál klidnou silou (tlakem), často kováme na jeden zdvih prokovají materiál v celém jeho průřezu vzniklý povrch výkovku není čistý a rovný, to je způsobeno zatlačováním okují do povrchu výkovku, tím je zhoršena jeho obrobitelnost. Na obrázku 1 je pro příklad znázorněn kovací lis.



Obrázek 1: Svislý kovací lis LZK 3150

BUCHARY - působí na materiál údery (rázy) beranu a otřásají celým okolím prokovávají materiál pouze do určité hloubky vlivem otřesů, které vznikly rázy bucharu, opadávají okraje z výkovku, povrch výkovku je čistý a lze lépe obrábět. Na obrázku 2 pneumatický buchar.

Při volném kování je materiál tvářen rázy nebo tlakem stroje. Kovaný materiál volně teče ve směru kolmém k působící síle. Výchozím polotovarem jsou předvalky a ingoty. Získaný povrch výkovku je hrubý a nerovný. Volně kované výkovky se navrhují tak, aby jejich tvar byl co nejjednodušší. Jejich rozměry jsou zvětšeny o technologické přídavky a přídavky na obrábění.

Pro sestavení správného výrobního postupu musíme znát výkres výkovku.



Obrázek 2: Pneumatický buchar Anyang řady C 41

U volného kování používáme jednoduché nástroje, přípravky a stroje. Jejich tvar a velikost jsou přizpůsobeny velikosti výkovku. Nejpoužívanějším nástrojem jsou kovádla (horní a spodní), na lis nebo buchar se upínají pomocí rybinovité části. Pro snazší manipulaci jsou kovádla opatřena v čelních stranách otvory, do kterých zavěšujeme řetězy jeřábu (přenášení pomocí jeřábů). Pracovní plochy kovádel jsou kaleny. Dále se používají kovátko, kleště, sekáče, průbojníky, osazovací příložky, měřidla, atd. Tvaru výkovku dosáhneme některou ze základních kovářských operací nebo jejich kombinací. Základní operace jsou stejné jako u ručního kování: pýchování, prodlužování, sekání, děrování, osazování atd. Pro manipulaci s ohřátým materiálem používáme manipulátory.

Zápustkové kování se používá k výrobě velkého počtu tvarově stejných součástí. Zápustka je nejčastěji dvoudílná (horní a spodní) forma vyrobená z nástrojové oceli se zvýšenou odolností proti otěru a vysokým teplotám, její

dutina má tvar shodný s výkovkem. Dutina zápustky je zhotovena obráběním nebo vytlačováním, je zvětšena o hodnoty smrštění vychladlého kovu, popř. o přídavky na obrábění. Zápustkovým kováním dosáhneme přesnějších tvarů výkovků, lepší jakosti povrchu a vyššího stupně prokování než u volného kování. Průběh vláken sleduje obrys výkovku (lepší mechanické vlastnosti). Přesnost rozměrů lze zlepšit kalibrováním, výkovky se pak nemusí obrábět. Rozměry a velikost výkovku jsou omezeny použitím kovacího stroje (závisí na kovací síle a rozměrech stroje). Při zápustkovém kování vložíme ohřátý materiál do dutiny spodní zápustky a horní zápustka se úderem bucharu nebo tlakem lisu přitlačuje na spodní zápustku. Zápustka je na bucharu upevněna pomocí rybinovité části a na lisu šrouby. Materiál vložený do zápustky má větší objem než výkovek, aby dokonale vyplnil dutinu zápustky. Přebytečný materiál odtéká do výronkové drážky. Výronek se po kování ostříhne protlačením výkovku střížnicí. Na obrázku 3 příklad odstříhovacího lisu.



Obrázek 3: Ostříhovací lis LDO 315

Materiál potřebný pro zápustkové kování má mít přibližně tvar dutiny, to umožní rychlejší plnění formy a zabrání přebytečnému odtékání materiálu do výronku. Provádíme tzv. předkování – volně, v zápustkách nebo na kovacích válcích. Pokud mají být ve výkovku průchozí díry (nekováme je přímo) naznačíme je předkováním tzv. blány, ta se odstraní odstřížením nebo se děruje.

Složité výkovky nelze vyrobit najednou, musíme je kovat postupně. K tomu používáme postupové zápustky.

U postupové zápustky rozlišujeme dutiny předkovací (v převážné míře dutiny otevřené) a dutiny dokončovací (uzavřené). Výkovky s minimálními přídavky na obrábění a úkosity se vyrábějí v uzavřených zápustkách (bez výronku) přesným kovááním. U tohoto způsobu kování musí být přesně stanoveno množství potřebného materiálu.

Přesné kování se provádí na lisech i bucharech. Tímto způsobem se vyrábějí nejčastěji výkovky rotačních tvarů. Hotové výkovky se zbavují okují mořením v kyselině solné nebo sírové, aby se snadněji uvolnily a následně odprýskaly tvořícím se vodíkem, který vzniká působením kyseliny na kov.

Výkovky mají nestejnoměrnou strukturu a nestejnoměrné mechanické vlastnosti, proto se tepelně zpracovávají (normalizačně žíhají), dále se kontrolují a kalibrují na požadovaný rozměr.

2. ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

Při zápusťkového kování dochází k vyplnění dutiny zápusťky, čímž získá kovaný materiál požadovaný tvar. Horní část zápusťky je upnuta k pohybujícímu se beranu bucharu nebo lisu, dolní část zápusťky je upnuta na stole bucharu nebo lisu. Kování se realizuje v otevřené a uzavřené zápusťce.

Do otevřené zápusťky se vloží materiál, kterým se dutina vyplní a přebytečný materiál je vytlačován do tvarované mezery mezi horní a dolní zápusťkou. Tento přebytek se nazývá výronek, který se v následující operaci ostříhne. Na výronek připadá běžně $8 \div 15 \%$ ztrát kovu a umísťuje se do zápusťek z těchto důvodů:

- vyrovnává objemové rozdíly výchozího polotovaru a také vyrovnává zvětšování objemu dutiny v důsledku jejího opotřebení,
- klade odpor proti vytékání kovu ze zápusťkové dutiny, což podporuje její dokonalé zaplňování,
- tlumí rázy při vzájemném dosednutí dílů zápusťky.

Rozměry zápusťkových výkovek se zvětšují o přídavky na opracování a technologické (úkosy bočních ploch do dělicí roviny, zvětšení tlouštěk stěn žeber, apod.).

Uzavřená zápusťka na rozdíl od otevřené nemá výronkovou drážku, kov dokonale vyplňuje dutinu, výkovek je bez výronku. Výhodou této zápusťky je, že výkovek je kován na hotovo. Kování je technologicky náročnější, protože polotovar musí mít přesný objem jako dutina zápusťky, dále jsou zápusťky více namáhány, proto mají kratší životnost.

Celý technologický proces obsahuje řadu operací, jednotlivá stadia uvádí výrobní postup.



2.1. Zásady konstrukce výkovku

Výkovky se třídí dle normy ČSN 42 9002 podle složitosti tvaru na:
Skupina A – výkovky s protáhlou nebo prohnutou osou, s výčnělky nebo rozvidlením. Skupina B – výkovky půdorysně souměrné vyplňující zpravidla dutinu pčechováním. Skupina C – kombinované, složité tvary.

Označení $\rightarrow X^1) X^2) X^3) X^4) . X^5)$

¹⁾ tvarový druh

²⁾ tvarová třída

³⁾ tvarová skupina

⁴⁾ tvarová podskupina (přesah poměrů)

⁵⁾ technologické hledisko

Při zpracování výkresu výkovku se obvykle vychází z výkresu součásti. Ve výkresu součásti mohou být uvedeny následující požadavky na:

přesnost – výkovky se vyrábí dle přesnosti kování v provedení: obvyklém, přesném a velmi přesném. Z těchto tříd vyplývají velikosti přídavek na obrábění, stupeň přesnosti a velikosti mezních úchylek a tolerancí rozměrů kolmých a rovnoběžných se směrem rázu.

mechanické vlastnosti – tepelné zpracování, předepsaný průběh vláken, předkování otvorů.

tvářecí zařízení – ovlivňuje jak přesnost, tak konstrukci výkovku.

mechanizaci procesu kování – např. požadavek na přídavné úchyty, středící plochy, apod.

Konstrukci a přesnost výkovku ovlivňuje mnoho technologických parametrů, které je nutno stanovit již při jeho návrhu. Je nutno určit:

- **přídavky na opracování** (obrábění), které se řídí dle tříd provedení (viz. přesnost)

- **technologické přídavky**, které upravují tvar výkovku na tvar vhodný pro kování. Jedná se především o:

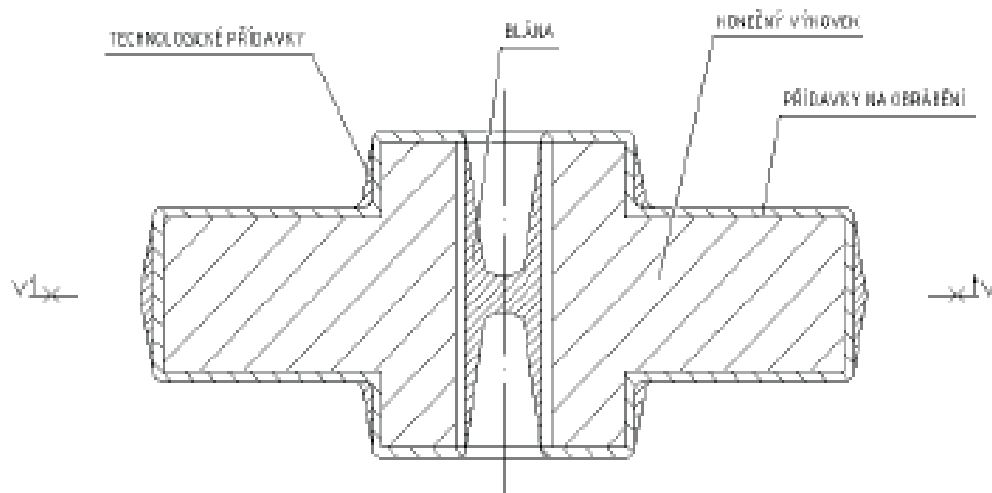
→ **vnější a vnitřní úkosity** na stěnách do dělicí roviny dle použitého stroje pro jeho výrobu; jsou nutné z důvodu snadnějšího zatékání kovu do dutiny, vyjímání výkovku z dutiny,

→ **poloměry zaoblení hran, rohů a přechodů** výkovku a jejich mezní úchylky; ostré hrany by mohly z pevnostního hlediska způsobit prasknutí zápustky

→ **nejmenší tloušťku blány** v předkovaných otvorech, která se po vykování vystříhne (úspora materiálu), tloušťku disku a stěny výkovku

→ **přídavky pro manipulaci.**

Ukázka technologických parametrů u výkovku obr. 4.



Obrázek 4: Technologické přídavky na výkovku

Dále je třeba vzít v úvahu:

- **polohu dělící roviny** rozdělující výkovek na část kovanou v horním a spodním dílu zápustky. Volí se většinou v místě největšího obvodu, má být pokud možno rovinná a nachází se v ní výronková drážka.
- lze kovat i **párově** – 2 kusy jako 1 celek, který se následně rozdělí na 2 části. A naopak, členitý výkovek lze rozdělit na 2 jednodušší části, které se v následující operaci spojí vybranou technologií svařováním.

2.2. Kování na bucharech

- vhodné především pro kování drobných výkovků nebo výkovků o velké hmotnosti a výškově složitých výkovků.
- rychlost beranu bucharu je až $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Postup kování spočívá v těchto krocích / operacích/:

→ **předkování** – na bucharech se kove převážně postupově. Povrch výkovku je kvalitnější, protože okuje opadají z výkovku během kování. Účelem předkování

je rozdělení materiálu ve směru podélném i příčném tak, aby v dokončovací dutině nedocházelo k přemísťování materiálu v podélné ose. Šetří se tím materiál i dutina zápusťky.

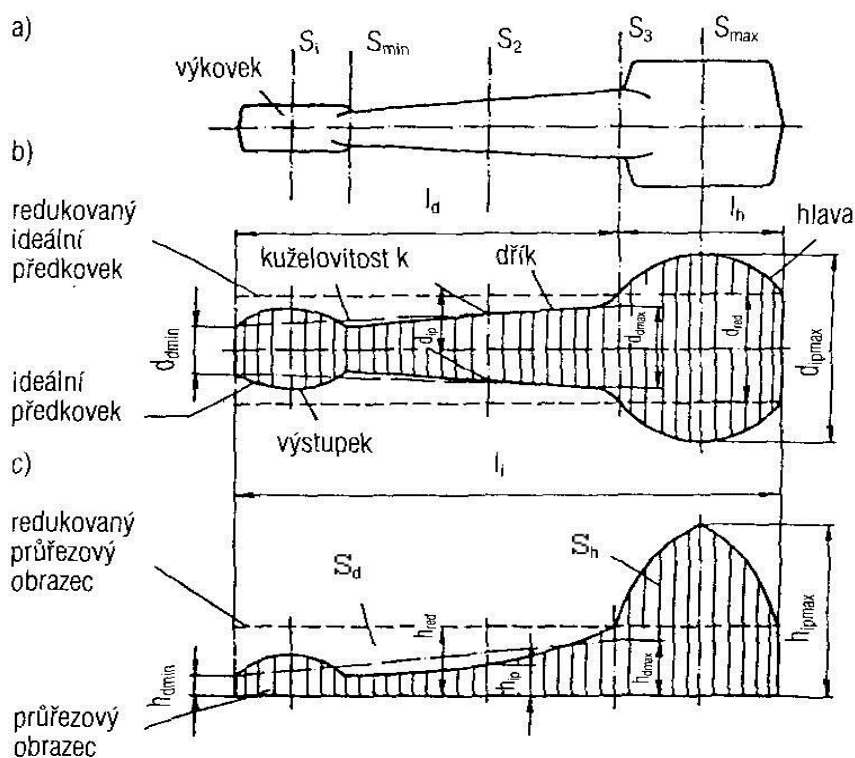
→ **kování**

→ **ostřížení výronku, případně blány**

→ **zpracování výkovku.**

Při návrhu pracovního postupu výroby výkovku je nutné zohlednit počet přípravných dutin, ve kterých se objem předkovku rozdělí. Volba či kombinace dutin se provádí pomocí diagramů, tabulek, pomocí nichž se sestrojí tzv. ideální předkovek.

Ideální předkovek je osově souměrné těleso, jehož objem V_{ip} se rovná objemu výkovku V_v , zvětšenému o objem výronku V_{vr} a jehož délka l_{ip} se rovná délce výkovku l_v . Postup konstrukce uvádí obr. 5.



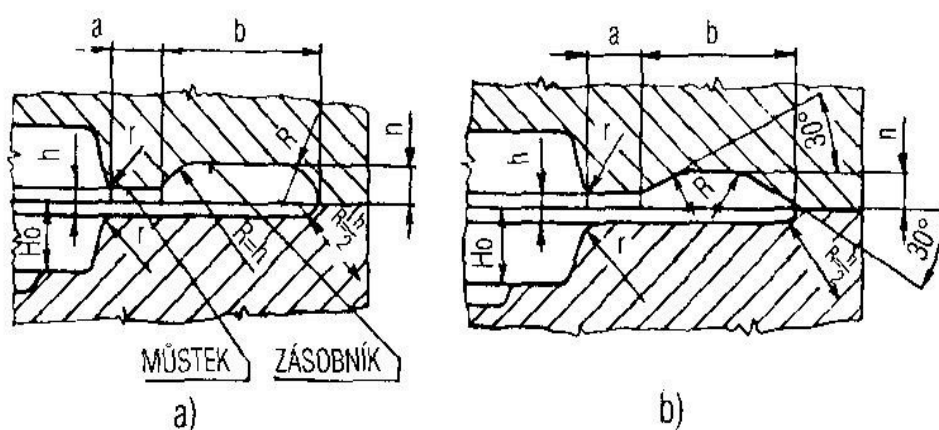
Obrázek 5: Postup sestrojení ideálního předkovku [1]

Nanesením hodnot obsahů S_{ip} ve zvoleném měřítku m v pořadí výšek se dospěje k základnímu průřezovému obrazci ideálního předkovku.

Redukovaný průřezový obrazec má tvar obdélníku o výšce h_{re} a stejnou plochu, a je tedy vymezen přímkou. Část základního průřezového obrazce ideálního předkovku, která ji převyšuje je nazývána hlavou a její plocha S_h je v relaci k ploše S_d v oblasti dříku. S_d odpovídá přebytečnému objemu materiálu, který je nutno dodat do oblasti hlavy, a to vhodným výběrem přidavných dutin. Děje se tak pomocí parametrů např. d_{max}/d_{re} , l_i/d_{re} , kuželovitosti dříku a různých grafů.

Redukovaný ideální předkovek v principu odpovídá rozměrům výchozího polotovaru, avšak je třeba připočítat přídavek na opal a objem blány otvoru

Dokončovací dutina se nachází v ose beranu a je opatřena výronkovou drážkou. Na obrázku 6 je klasický průřezový tvar výronkové drážky dokončovací dutiny .



Obrázek 6: Tvar výronkové drážky pro buchar [1]

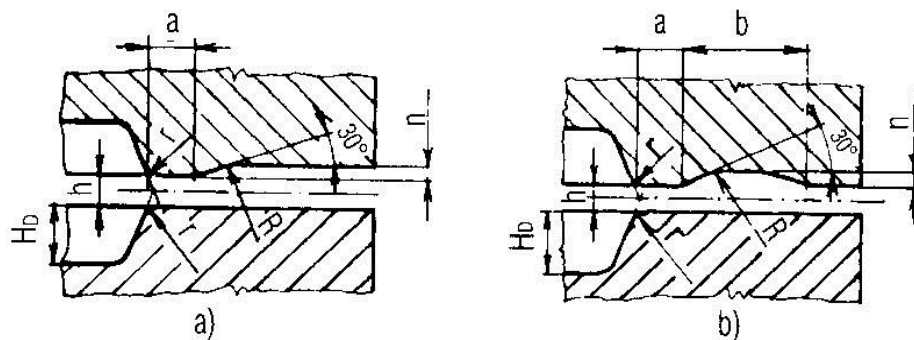
Zúžené místo – můstek brzdí vytékání kovu, zbylý úsek – zásobník se zaplňuje asi na 70 % přebytečným materiálem. Rozměry a geometrie drážky je dána normou ČSN 22 830 (Zápustky pro buchary. Směrnice pro konstrukci.),

kde jsou také uvedeny vzdálenosti mezi dutinami, jejich vzdálenosti od okrajů apod.

2.3. Zápustkové kování na svislých lisech

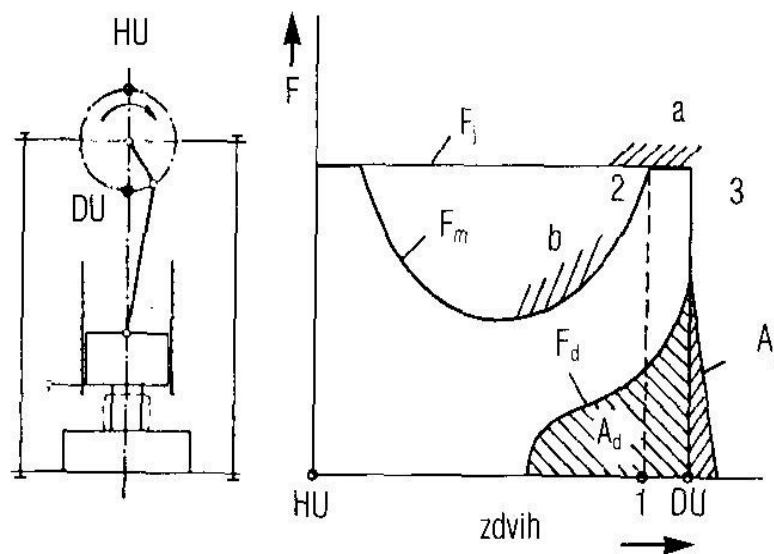
- zdvihový stroj, pohyb beranu je pomocí klikového mechanismu,
- pracuje tlakem a jeho zdvih je stále stejný,
- nevýhodou je, že okuje se zakovou do výkovku, proto se musí odstraňovat nebo zvolit takový ohřev, při kterém jich vzniká málo,
- pracovní rychlost je $0,5 \div 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- spodní poloha beranu je neměnná. Horní část zápustky má přesně určenou dolní polohu, čela zápustek na sebe nedosedají. Dutina se zaplňuje při jediném zdvihu lisu,
- počet dutin musí být roven počtu zdvihů beranu, které jsou nutné k zhotovení výkovku.
- výkovky lze automaticky vyhazovat pomocí vyhazovače z dutiny zápustky, proto lze volit i menší úkosy,
- vhodné pro výkovky se symetrickým, kruhovým nebo kvadratickým půdorysem (i s dřikem), výkovky s krátkou podélnou osou (čepy, páky, ojnice, vidlice, kliky).

Výronková drážka v dokončovací dutině pro lis je oproti bucharům otevřená, její tvar je uveden na obr.7.



Obrázek 7: Tvar výronkové drážky pro lis [1]

Ve schématu klikového mechanismu obrázek 8 (je znázorněna situace, kdy začíná operace kování – start křivky síly F_d v pracovním diagramu. Úsek 1, DU odpovídá jmenovitému úhlu α_j natočení kliky před DU u kovacích lisů bývá α_j maximálně $5 \div 10^\circ$).



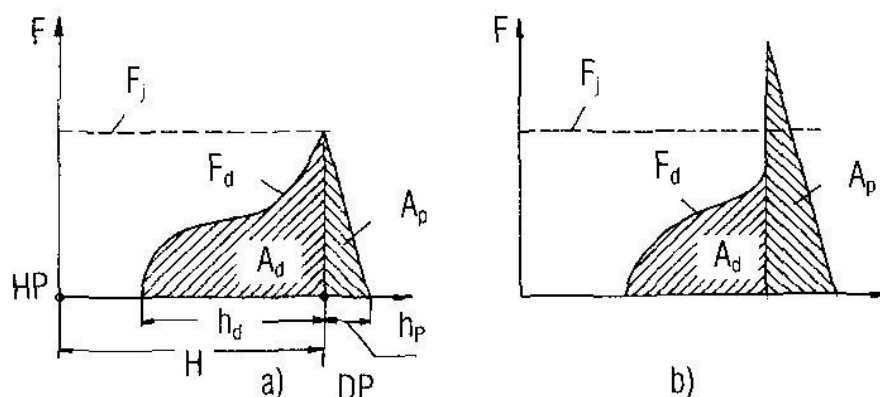
Obrázek 8: Schéma klikového mechanismu lisu [1]

Proti přetížení systému beran-ojnice-klika-rám (oblast a znázorňuje překročení síly F_j) jsou např. v beranu pod ojnicí umístěny tlakové střížné pojistky. Plocha 1, 2, 3, DU vyjadřuje jmenovitou práci lisu A_j , která když se porovná s kovací prací A_d , může se stanovit využitelnost lisu za trvalého chodu.

2.4. Zápustkové kování na vřetenových lisech

- energetický tvářecí stroj,
- dosedací rychlost je $0,5 \div 0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- kovací kapacita lisu je určena jeho jmenovitou silou F_j ,
- výkovek se kove v jednodutinové zápustce jedním, max. 2 údery, výjimečně lze kovat v 1 předkovací dutině (funkce dutiny: ohýbání, zužování, tvarování); dokončovací dutina je polohována vždy do osy vřetene,
- lze kovat tvarově jednoduché výkovky (převládá pěchování), nedoporučuje se kovat výkovky s tenkými stěnami a vysokými žebry,
- lisy se využívají v malosériové výrobě, pro rovnání, kalibrování, děrování, stříhání nebo ostříhování výronků,
- lis má vyhazovač uložený zpravidla ve spodní části nástroje, má možnost regulovat energii úderu změnou otáček setrvačnicku,
- kove se převážně v otevřených zápustkách hranolovitého nebo válcovitého tvaru,
- lisy jsou také využívány pro kování v uzavřených dělených zápustkách; vyrážec v závěru procesu vysouvá z objímky obě části zápustky, které se rozevřou, a výkovek lze snadno vyjmout. Výkovky jsou menší, členitější, z neželezných kovů a slitin.

Na obrázku 9 je znázorněno energetické využití vřetenového lisu. Obrázek 9 a) uvádí ideální stav, kdy maximální tvářecí síla v závěru zdvihu nepřekročí jmenovitou sílu lisu F_j . Plocha A_d pod křivkou průběhu tvářecí síly představuje potřebnou deformační práci. Propružení systému nástroj-vřetenorám je znázorněno ztrátovou prací A_p , plocha má tvar trojúhelníku. Na obr. 9 b) je znázorněno přetížení lisu – překročení síly F_j .

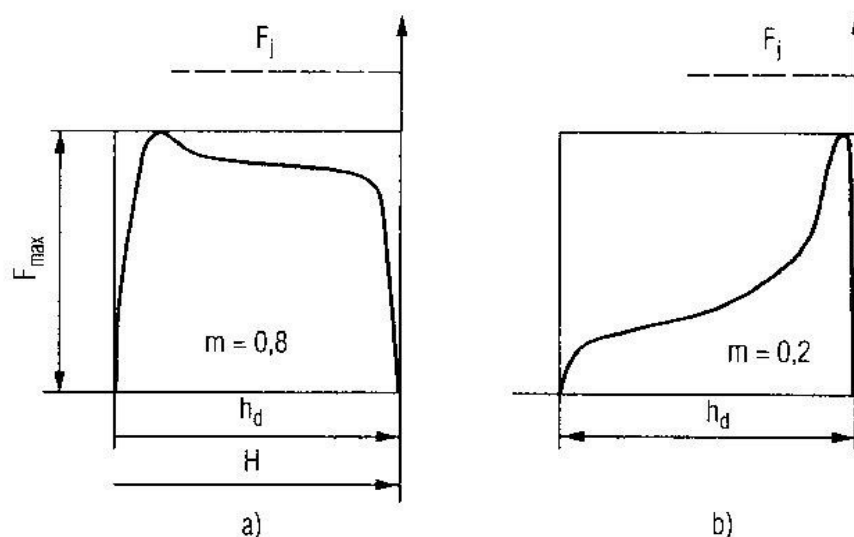


Obrázek 9: Schéma energetického využití vřetenového lisu [1]

2.5. Zápustkové kování na hydraulických lisech

- k překonání deformačního odporu se využívá u hydraulických lisů potenciální energie, která je dána tlakovým médiem (olej) v hlavním válci,
- jmenovité pracovní síly F_j lze dosáhnout v kterékoliv poloze beranu, která je k dispozici po celou dobu jeho zdvihu,
- rychlost beranu je oproti bucharům či klikovým lisům značně menší. Pro objemové tváření se užívá pracovní rychlost pro běžné oceli $0,01 \div 0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $0,01 \div 0,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pro kovy citlivé na rychlost deformace (Al slitiny, Ti slitiny, legované oceli)
- rychlost deformace a stupeň deformace při změně deformační práce v teplo ovlivňují vzrůst teploty v průběhu kování, což negativně ovlivňuje v zúžených místech zápustky vzrůst lokální teploty \rightarrow zhrubne zrno.
- nedoporučuje se realizovat operace rozdělování a prodlužování
- kove se v jednodutinové zápustce, v přípravných dutinách se provádějí pýchovací, ohýbací a zužovací operace.

Využitelnost hydraulického lisu je zobrazena na obrázku 10 pomocí dvou grafů.



Obrázek 10: Pracovní diagramy operací hydraulického lisu [1]

Obrázek 10 a) se týká kování protlačováním či protahováním, obr. 10 b) kování rozpěchováním.

3. ZÁPUSTKOVÉ MATERIÁLY

Zápustky jsou vystaveny značnému namáhání a to:

- **mechanickému namáhání** – jedná se o zápustky bucharů, které jsou zatěžovány dynamicky při kování
- **tepelnému namáhání** – střídání teplot \rightarrow vznik napětí \rightarrow vznik mikrotrhlinek; povrchová teplota dutiny až 500°C , u výstupků dutin až 600°C .

Hlavní požadavky na oceli pro zápustky jsou:

- vysoká pevnost a houževnatost v celém rozsahu kovacích teplot
- vysoká otěruvzdornost

- dobrá prokalitelnost a co nejvyšší popouštěcí teplota
- nízká tepelná roztažnost a co nejvyšší tepelná vodivost
- dobrá obrobitelnost a nízká cena oceli.

Těchto vlastností se často dosahuje přidáním legujících prvků (kombinace Cr,Ni,Mn aW,Cr,V).

Tabulka 1 a 2 udává doporučené oceli k výrobě nástrojů objemového tváření z ohledem na velikost a namáhání zápustky, dále druhu kovacího stroje a kovaného materiálu.

Tabulka 1: Doporučené zápustkové oceli se zřetelem na velikost a namáhání zápustky [1]

Označení oceli	Použití oceli se zřetelem na	
	velikost zápustky	namáhání zápustky
19 464	malé a střední zápustky	mírně tepelně namáhané nástroje
19 512	malé zápustky o tl. do 200 mm	středně tepelně namáhané nástroje
19 552	malé zápustky o tl. do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, houževnaté nástroje
19 642	malé, střední a velké zápustky	středně tep. namáhané nástroje s velkou houževnatostí
19 650	malé, střední a velké zápustky	středně tep. namáhané nástroje s dobrou houževnatostí
19 662	střední a velké zápustky	středně tep. namáhané nástroje s velkou houževnatostí
19 663	malé, střední a velké zápustky	středně tep. namáhané nástroje s velkou houževnatostí
19 720	malé zápustky o tl. do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, dosti houževnaté nástroje
19 721	malé zápustky o tl. do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, méně houževnaté nástroje
19 740	malé zápustky o tl. do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, dosti houževnaté nástroje

Tabulka 2: Doporučené zápusťkové oceli se zřetelem k druhu kovacího stroje a materiálu výkovku [1]

Označení oceli	Použití oceli se zřetelem na	
	druhu kovacího stroje	materiálu výkovku
19 464	buchary, vřetenové lisy, kovací lisy	nelegované a nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů a olova
19 512	buchary, vřetenové lisy, kovací lisy	nelegované a nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 552	buchary, vřetenové lisy, kovací lisy	nelegované a nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 642	především buchary, ale také vřetenové lisy a kovací lisy	nelegované a nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 650	buchary, vřetenové lisy	nelegované a nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 662	především buchary	nelegované a nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 663	buchary, vřetenové lisy, kovací lisy	nelegované a nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 720	všechny druhy lisů a bucharů	všechny druhy ocelí, slitiny mědi a lehkých kovů
19 721	všechny druhy lisů	všechny druhy ocelí, slitiny mědi a lehkých kovů
19 740	všechny druhy lisů	všechny druhy ocelí, slitiny mědi a lehkých kovů

3.1. Optimalizace konstrukčního řešení

Konstruktor před návrhem tvářecí zápusťky musí do projektu zahrnout max. rozsah řešené oblasti výroby, tzn. počet kusu v dávce, případnou podobnost výkovku, rozsah velikosti dílu, ap. Pokud pevnostní, tvarové a rozměrové parametry umožní, volit provedení s výměnnými prvky, kdy dojde k úspoře nástrojového materiálu a je předpoklad snížení nákladu při náhradě opotřebovaného dílu.

Velký vliv má rozvržení tvaru předkovacího, kovacího a dokončovacího nástroje, je-li to technologicky nutné. Při konstrukci se musí řešitel vyvarovat konstrukčních prvků, které mají vliv na vrubovou pevnost vlivem tepelného a mechanického zatížení nástroje při kování, malým přechodovým rádiusem mezi plochami kvůli tečení materiálu a teplotním vlivům. Také tuhost dílu zápustky musí být úměrná silovému namáhání.

Vhodné segmentové uspořádání náchylných částí tvářecích nástrojů odstraní slabá místa a zvýší efektivitu. Přitom je možno kombinovat materiály výměnných prvků, nebo volit odolnější materiály, které jsou mnohdy dražší, ale segment bývá menší. Rozhodující je většinou místo a forma spoje, aby nedocházelo k zatékání kovu.

3.2. Volba odolných materiálu zápustek

Volbou materiálu nástroje po optimalizaci konstrukce lze v určitém rozsahu zvyšovat životnost [2]. Kovací zápustky jsou při provozu vystaveny především cyklickému působení vysokých teplot. V některých případech může teplota povrchu nástroje přesáhnout 500 °C. Kromě toho dochází ke značnému mechanickému namáhání ve formě vysokého měrného tlaku, který navíc působí ve formě rázu.

Nejdůležitější vlastnosti materiálu pro kovací zápustky proto jsou tvrdost a pevnost zejména v oblasti vyšších teplot a dále houževnatost a odolnost proti mechanické a tepelné únavě. Chemické složení ocelí pro práci z tepla je založeno zejména na přísadách molybdenu nebo niklu, které zvyšují odolnost vůči vysokým teplotám, a dále na karbidotvorných prvcích, jako je např. chrom, vanad, wolfram atd., které zvyšují především tvrdost a prokalitelnost. Obsah karbidotvorných prvků však bývá u těchto ocelí nižší, než u ocelí pro práci za studena (např. pro řezné obráběcí nástroje), aby nedocházelo k nežádoucímu snížení houževnatosti.

Praktická zkušenost ukazuje, že rozdíly mezi chemickým složením běžných a moderních nástrojových ocelí nejsou příliš výrazné, je však velký

rozdíl mezi jejich vlastnostmi. Je to způsobeno zejména lepším metalurgickým zpracováním, kvalitnějším prokováním a lepší homogenitou mikrostruktury moderních ocelí. Kromě klasicky vyráběných ocelí je v současnosti možno využít i oceli vyráběné práškovou metalurgií.

3.3. Tepelné zpracování zápusťky

Správná hodnota zušlechtění zápusťky z určitého nástrojového materiálu podstatně ovlivňuje její životnost. Při nižší hodnotě může docházet k předčasné degradaci tvaru, při příliš vysoké se snižuje houževnatost a hrozí destrukce.

V současnosti jsou prověřovány možnosti uplatnění některých nových technologií tepelného zpracování, jako je např. kryogenní zpracování. Kryogenní zpracování nepředstavuje pouze povrchové zpracování. Jedná se o doplněk konvenčního tepelného zpracování ocelí. Jeho účelem je zejména stabilizovat martenzit a eliminovat zbytkový austenit ochlazením oceli na teplotu pod M_f . Tato teplota leží u nástrojových ocelí obvykle pod hodnotou minus 100 °C.

Moderní způsoby dlouhodobého kryogenního zpracování spočívají v pomalém ochlazení zpracovávaných součástí na teplotu až ca. minus 180 °C, po kterém následuje výdrž na této teplotě, jejíž délka je závislá na velikosti zpracovávané součásti a na použitém materiálu. Poté se materiál pomalu zahřeje na teplotu okolí a nakonec se provede nízkoteplotní popuštění. Přesný režim kryogenního zpracování (podobně jako režim tepelného zpracování) závisí na zpracovávaném materiálu.

Přesná metodika kryogenního zpracování ocelí je v současné době předmětem intenzivního vývoje i v naší společnosti. Kromě eliminace zbytkového austenitu a stabilizace martenzitu vede dlouhodobé kryogenní zpracování k uvolnění velmi jemných precipitátů, které způsobují další zpevnění materiálu.

3.4. Uplatnění povrchových úprav

Přehled základních možností povrchového zpracování, které vedou ke zvýšení odolnosti proti opotřebení je znázorněn v Tabulce 3:

Tabulka 3: Přehled technologií povrchového zpracování kovacích zápustek

Technologie	Výhody	Nevýhody
Nitridace, karbonizace a další technologie založené především na difúzi	Poměrně dobrá tvrdost a odolnost proti opotřebení (závisí i na základním materiálu) Poměrně dobrá tepelná stabilita	Trhliny (způsobené např. tepelnou únavou) se mohou snadno šířit do základního materiálu
Keramické povlaky nebo jiné tepelné nástřiky	Velmi vysoká tvrdost a odolnost proti mechanickému opotřebení, dobrá tepelná stabilita	Nízka houževnatost, při dynamickém namáhání může docházet k jejím odlupování
Povlaky PVD	Je možné dosáhnout velmi vysoké tvrdosti, odolnosti proti mechanickému opotřebení a tepelné stability	Nízka houževnatost, při dynamickém namáhání může docházet k prolamování a odlupování povlaku. Vysoká cena

Nitridace přináší v oblasti zápustek vyšší odolnost povrchu proti otěru a tím i zvýšení životnosti nástrojů. Poměrně malé zvýšení nákladu na nitridaci přináší zefektivnění výroby a procesu. V tabulce uvedené nevýhody však mohou být pro některé typy zápustek degradační. Např. u nástrojů s hlubokými dutinami může od nitridovaného povrchu vzniknout vlivem pnutí trhlina, která se následně lavinovitě šíří a je příčinou destrukce. Také velmi tenké PVD vrstvy o vysoké tvrdosti, nanesené na relativně měkkém substrátu – tvářecím nástroji, se uplatní jen zřídka. V některých případech se naopak využije odolný návar na styčnou plochu zápustky s výkovkem, zvláště v místech intenzivního otěru nástroje.

3.5. Renovace nástroje

Velká hmotnost tělesa zápustky, která musí být dimenzována tak, aby odolávala cyklickému mechanickému a tepelnému namáhání, představuje většinou významné finanční náklady na nástrojový materiál. Proto, pokud to tvarové podmínky umožňují, je žádoucí konstruovat nástroj s přídavkem pro nejlépe vícenásobné posunutí profilu obrobením po jeho opotřebení.

Pokud není nástroj tepelně degradován, bývá nový profil zhotoven přímo do tepelně zpracovaného materiálu. Tím dochází k úspoře energie na opakované tepelné zpracování zápustky. Namáhaný profil v místech největšího opotřebení je možné rovněž při vhodné volbě materiálu navařit, což je možno provést před použitím nástroje, nebo podle výsledku optimalizace v některých případech na opotřebovaném dílu. Výše uvedené vstupní předpoklady pro zvýšení životnosti tvářecího nástroje je nutno ověřit případ od případu, nelze doporučit jednoznačný postup pro všechny typy zápustek. Záleží na tvaru výkovku, výrobním zařízení, použité technologii, ale např. i na používaném mazacím prostředku, apod.

4. ÚDRŽBA A ŽIVOTNOST ZÁPUSTEK

4.1. Vložkování zápustek

Některé zápustky se nahrazují, buď celý jejich tvar nebo jen jejich část, vložkami. Vložky v horním nástroji zápustky se musí zajistit proti jejich samovolnému uvolnění. Při vložkování používáme přesnost s přesahem H8/u7. Vložkování se používá především jsou-li nad dělicí rovinou, v ohýbací dutině nebo v zápustkových dutinách výstupky.

Dále je vložkování užíváno, jestliže se nadměrně opotřebovují tvarové části v zápustce. Výhodou je, že když se opotřebí vložka není třeba vyměňovat celou zápustku. Vymění se pouze opotřebovaná nebo poškozená vložka za novou. Vložka se zhotovuje z jakostní zápustkové oceli u velmi namáhaných zápustek

jsou používány materiály keramika nebo slinuté karbidy. Při renovaci se používá navařování, předepínání a povlakování zápustek. Navařování se užívá při opravách zápustky.

4.2. Mazání zápustek

Mazivo a celkově mazání zápustek je velmi důležitým krokem při zápustkovém kování. Mazivo chrání zápustku před opotřebením, zmenšuje tření mezi zápustkou a výkovkem, chladí zápustku a napomáhá snižovat ulpívání okují v zápustce a tím zlepšuje tok tvářeného materiálu. Nejčastěji se používají na mazání zápustek tuhá maziva (dispergovaná ve vodě např. grafit nebo v oleji), kapalinná maziva (minerální a organické oleje, emulgační oleje, syntetické látky), konzistentní maziva (tuky, mýdla), piliny, soli nebo sklo.

4.3. Chlazení zápustek

Při zápustkovém kování dochází k značnému zahřátí povrchové vrstvy dutiny zápustky a tím dochází k popouštění a k poklesu pevnosti funkčních částí zápustky. Chlazení se nejčastěji provádí vodou nebo stlačeným vzduchem. Je třeba aby se ochlazovala pouze zápustka nikoli výkovek. Je vhodné důkladně zvážit použití chladicího média vzhledem k materiálu zápustky, aby nevznikly na zápustce vlivem velkých změn teplot trhliny. Výhodné jsou také zápustky, které mají oběhový vnitřní okruh vody, která proudí vyfrézovanými kanálky uvnitř zápustky a tím je možno vhodně regulovat intenzitu chlazení.

4.4. Stávající způsoby zvyšování životnosti zápustek

Během tvářecích kovárenských procesů a namáhání dochází k opotřebení zápustek nástroje, které po překročení určité kritické hodnoty vede k jejich výměně, popřípadě renovaci.

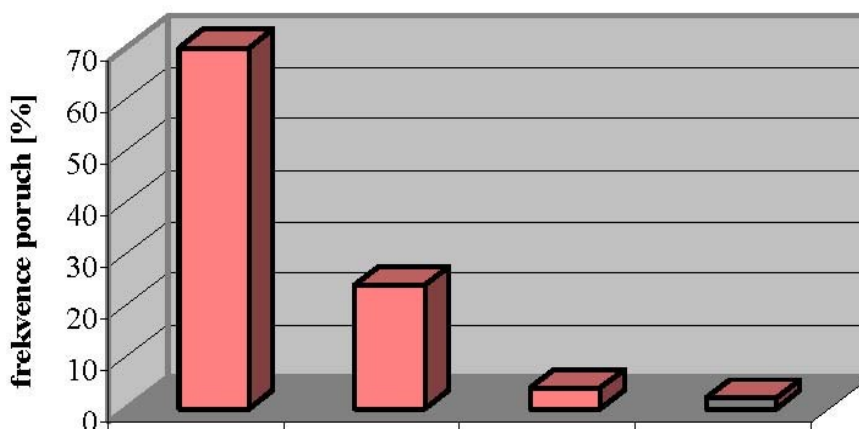
Toto opotřebení je ovlivněno mnoha faktory, nejčastěji mechanickými a fyzikálními vlastnostmi zápustky a výkovku, pracovním prostředím a výrobními

podmínkami stroje. U tvářecích nástrojů se především jedná o opotřebení vlivem mechanické, tepelné únavy a mechanickým opotřebením.

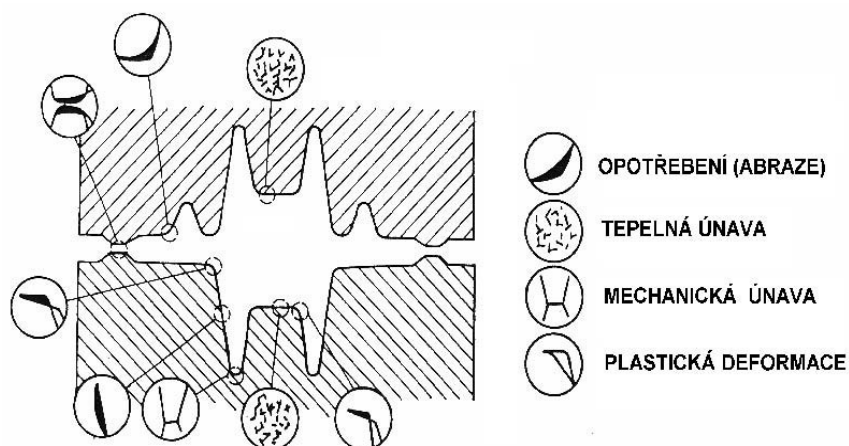
V závislosti na podmínkách tvářecího procesu, které jsou charakteristické pro materiál nástroje a stav povrchu, se lze setkat s těmito poruchami tvářecích nástrojů [3].

- **opotřebení (adhesivní, abrazivní, oxidační)**
- **tepelná únava**
- **mechanická únava**
- **plastická deformace**

Na obrázku 11 je znázorněn procentuální výskyt poruch tvářecích zápustek v závislosti na typu poruchy, z kterého vyplývá, že největší podíl na poruchách tvářecích nástrojů má opotřebení. Na obrázku 12 jsou znázorněny základní typy porušení zápustek a jejich rozmístění v dutině zápustky. Čím vyšší je pevnost a tvrdost oceli na povrchu zápustky, tím větší je její odolnost proti abrazivnímu opotřebení nebo proti plastické deformaci. Proto je vhodné zápustky, určené pro tváření za tepla, vhodně povlakovat. Například je v případě karbo-nitridace životnost dokončovací dutiny daleko vyšší než u povrchově neupravených dutin, neboť takto upravený povrch má nízký součinitel přestupu tepla.



Obrázek 11: Procentuální výskyt typických poruch tvářecích nástrojů [3]



Obrázek 12: Procentuální výskyt typických poruch tvářecích nástrojů [3]

Mezi mechanické opotřebení je zahrnuto abrazivní opotřebení, ulpívání tvářeného materiálu na zápustce (adheze) a lokální plastická deformace aktivních ploch nástroje. Takto namáhané zápustky lze renovovat nebo zvyšovat jejich životnost snižováním jejich tvaru nebo vložkováním.

Při tepelné únavě v důsledku cyklického střídání teplot se začínají na zápustce objevovat tepelné trhliny, které se dalším používáním zápustky postupně zvětšují a konečnou fází je destrukce zápustky. Při tepelné únavě se segregují některé prvky obsažené v nástrojových materiálech na hranicích zrna, kde následuje oslabení těchto hranic a následný vznik trhlín.

Principem mechanické únavy je šíření interkrystalických trhlín, které jsou zapříčiněny opakovaným mechanickým namáháním materiálu. U takto poškozené zápustky může dojít k lomu i při napětích menších než je hodnota meze pevnosti.

Při renovaci se používá navařování, předepínání a povlakování zápustek:

Pro navařování se nejčastěji používají metody MIG a MAG, navařování plamenem nebo elektrickým obloukem, plazmou.

Pokud je zápustka vystavena vysokému vnitřnímu pnutí, které může způsobit její prasknutí je využívána metoda předepínání zápustek. Při

předepínání zápustky se zápustka opatřuje speciální bandáží, která zajistí předepnutí zápustky proti směru napětí působícího při kování.

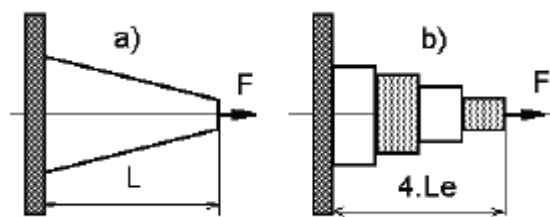
Princip povlakování je nanesení speciálního povlaku s vysokou odolností proti opotřebení. Bohužel touto metodou nelze vždy renovovat zápustky, protože povlak nemá dostatečnou odolnost proti vysokým kovacími teplotám, takže je jeho použití omezené. Mezi moderní metody povrchových úprav patří iontová implantace, metody fyzikálního povlakování (PVD) a chemického povlakování (CVD). Tyto metody jsou založeny na principu nanášení povlakového materiálu za účelem zvýšení tvrdosti, odolnosti proti otěru, zlepšení fyzikálních a chemických vlastností povrchové vrstvy nástroje a s tím související zvýšení životnosti nástroje.

5. METODA KONEČNÝCH PRVKŮ

Metoda konečných prvků (Finite Element Method - FEM) je numerická metoda pro analýzu struktur a těles [4]. Zpravidla je možné řešit touto metodou problémy, které klasickými postupy nelze úspěšně řešit. Metoda pokrývá celou šíři fyzikálních aplikací: statika, dynamika, akustika, teplo, elektromagnetické pole, elektrostatika, piezoelektrické jevy a proudění. FEM řeší tyto problémy soustavou lineárních rovnic, jejichž konstrukce a řešení lze efektivně provádět za použití výpočetní techniky.

5.1. Diskretizace

Základním principem FEM je diskretizace (rozdělení) tělesa na malé části (prvky), které jsou matematicky snadno popsitelné [4].



Obrázek 13: Diskretizace a) klasické řešení, b) čtyřprvkový model [4]

Obrázek 13 ukazuje diskretizaci: a) klasické řešení, b) čtyřprvkový model. Klasické řešení problému vyžaduje napsání diferenciální rovnice pro plynule se zužující prut, řešení rovnice pro osové posunutí u jako funkce x v mezích $0;L$. Naproti tomu řešení FEM spočívá v rozdělení (diskretizaci) prutu na čtyři konečné prvky různých, ale konstantních průřezů. V těchto prvcích prodloužení roste lineárně se vzdáleností x . Prodloužení jednotlivých prvků je pak dáno vztahem:

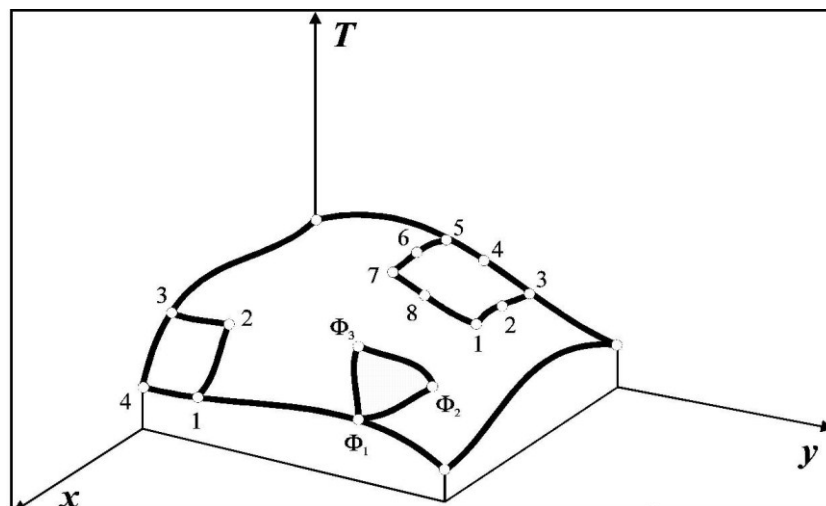
$$\Delta L_e = F \cdot L_e / [E \cdot S_e] \quad (6)$$

Výsledné prodloužení celého prutu je pak součtem prodloužení jednotlivých prvků.

Uvedená diskretizace je základem tzv. deformační metody. Jejím zobecněním vznikla nejužívanější varianta FEM. Teoretickým základem FEM je **Lagrangeův variační princip**.

5.2. Aproximační funkce

Fyzikální vlastnosti tělesa, posunutí, napětí, teplota atd. lze nahradit funkcí prostorových souřadnic. Tato funkce se nazývá aproximační funkcí nebo také funkcí tvaru [5].



Obrázek 14: Rozložení teploty na rovinné desce [5]

Na obrázek 14 je funkce $T(x, y)$, která charakterizuje rozložení teploty na rovinné obdélníkové desce. Tuto neznámou funkci nahradíme v jednotlivých uzlech aproximační funkcí, která musí mít tolik členů, kolik má prvek uzlů. Pro trojúhelníkový prvek tak vznikne např. polynom třetího stupně.

$$\Phi = a_1 + a_2x + a_3y \quad (7)$$

Koeficienty a_i rovnice (7) získáme na základě řešení polynomu pro všechny tři uzly trojúhelníkového prvku, tj. řešíme soustavu tří rovnic o třech neznámých:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= a_1 + a_2x_1 + a_3y_1 \\ \Phi_2 &= a_1 + a_2x_2 + a_3y_2 \\ \Phi_3 &= a_1 + a_2x_3 + a_3y_3 \end{aligned} \quad (8)$$

Obecně však platí, že s rostoucím počtem uzlů prvku roste přesnost aproximační funkce i celkového výsledku analýzy. Není-li k dispozici matematický přesný prvek, lze řešení nahradit diskretizací na větší počet méně přesných prvků. S rostoucím počtem uzlů prvků a s rostoucím počtem samotných prvků rostou i nároky na kapacitu a výkon výpočetní techniky.

5.3. Interpolace

Interpolace [5] je postup, jímž se přibližně určuje hodnota funkce $f(x)$ v bodě $x \in (a, b)$, jsou-li známy její hodnoty v jiných bodech intervalu $\langle a, b \rangle$.

Interpolace je základem FEM.

6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Jako případovou úlohu jsme použili simulaci kování na lisu **LZK4000**. Kovaný materiál **S355J0**, předeřtý na **800 °C**. Horní a spodní díl zápustky z materiálu **19 740**. Charakteristika oceli [6]:

- Wolfram-chrom-křemík-vanadová ocel ke kalení v oleji a ve vodě, s dobrou pevností za tepla a odolností proti popouštění, velmi dobrou houževnatost a odolností proti náhlým změnám teploty a proti tvorbě trhlinek tepelné únavy. Je dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná ve stavu žíhaném naměkko.
- Nástroj pro tváření za tepla: malé zápustky, zápustkové vložky, matrice, čelisti, razníky, vyhazovače a trny pro kovací lisy, nástroje pro výrobu nýtů, matic a šroubu.
- Vhodný pro malé zápustky o tloušťce do 200 mm, vysoce tepelně namáhané, dosti houževnaté nástroje. Použití pro všechny druhy lisu k tváření všech druhů oceli, slitin mědi a lehkých kovů.

Zápustky předeřtý na **250 °C**, chlazené vzduchem. Jako maziva styčných ploch materiálu zápustek s kovaným, bylo použito směsi vody s grafitem **gw-st-h** (*Grafit+Water for Hot Forging of Steel*), kde součinitel tření je **0,4**.

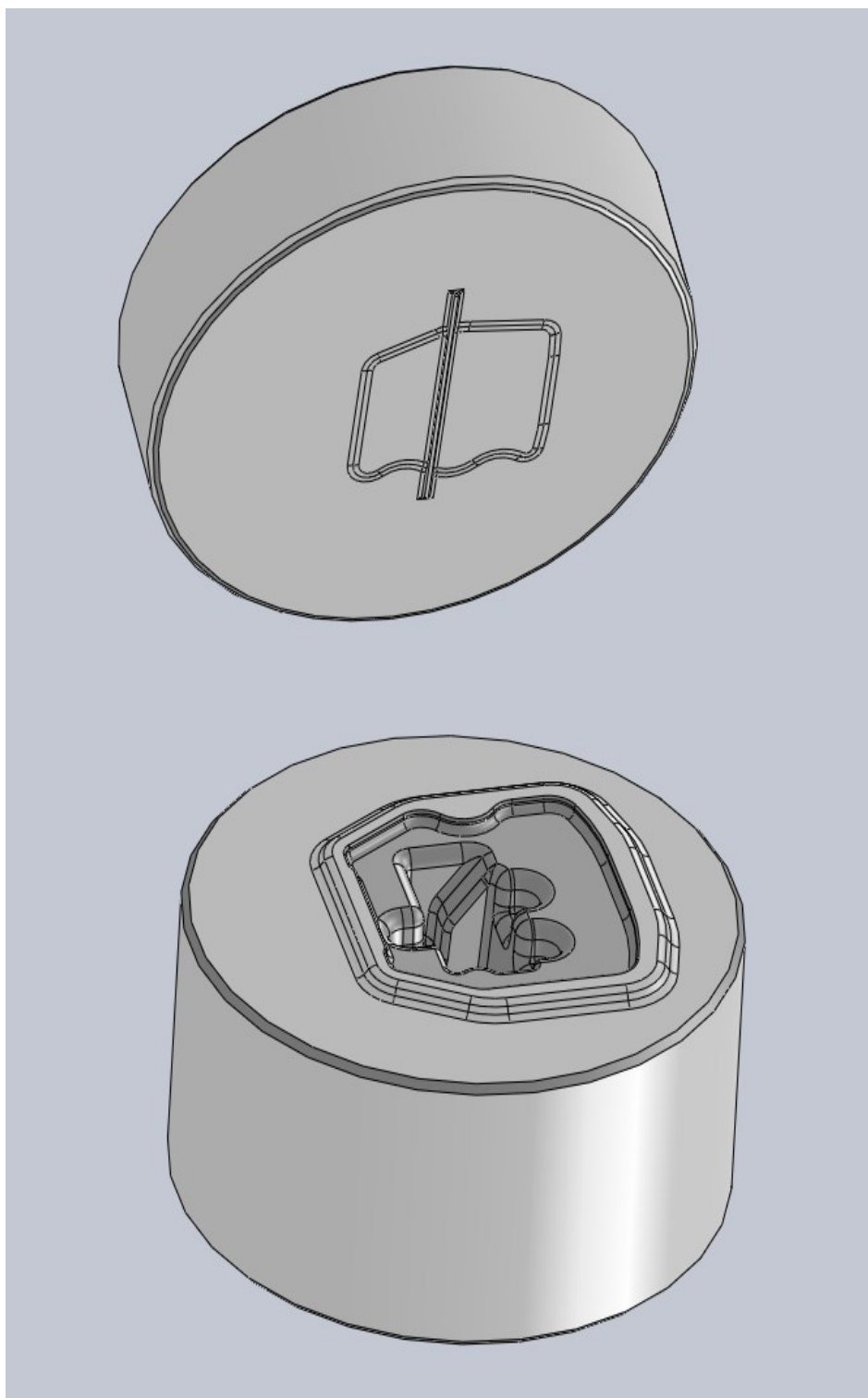
Rozsah měření proveden na zápustkách volně uložených bez úprav, armovaných s předpětím a armovaných s předpětím s naneseným povlakem

PVD (*Physical vapor deposition*). K tomuto účelu bude aplikován povlak **TiCN**. Charakteristika povlaku [7], [8]:

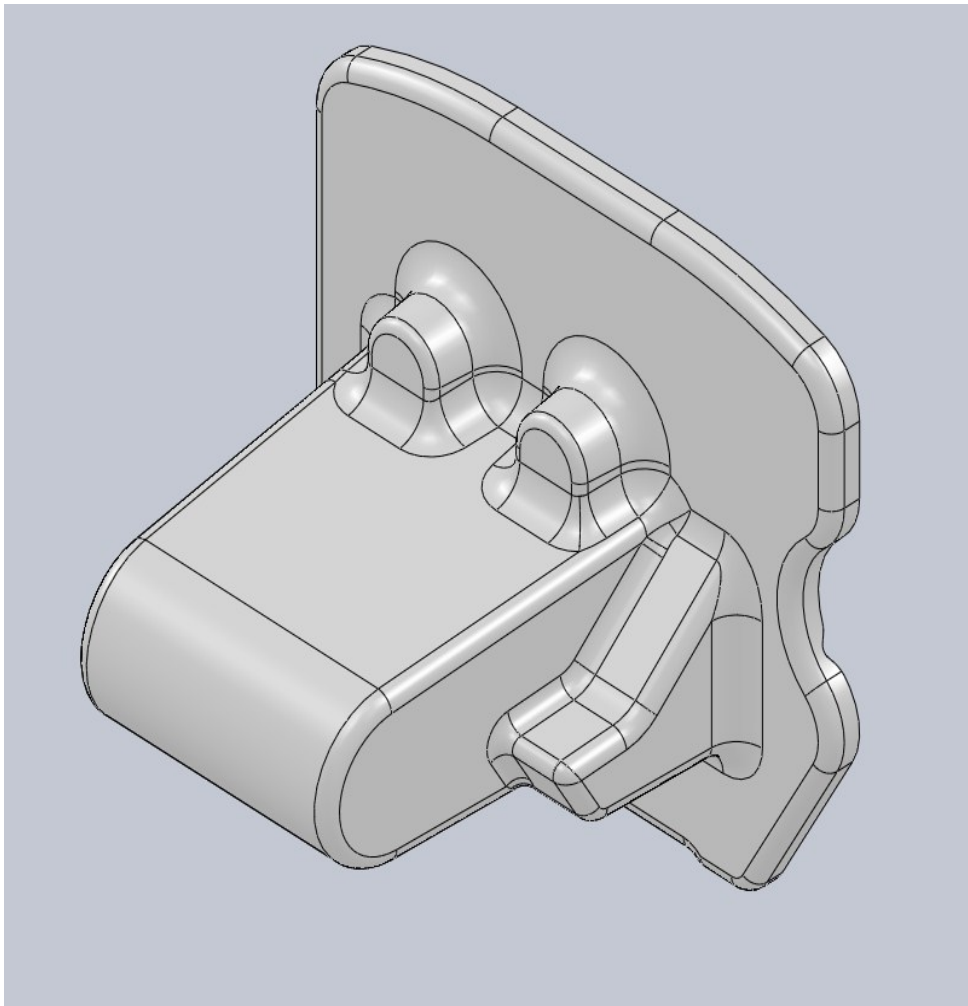
- Tvrdost podle Vickerse 18-21 GPa
- Modul pružnosti 251 GPa
- Tepelná vodivost 19.2 W/(m·°C)
- Součinitel tepelné roztažnosti $9.35 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- Magnetická susceptibilita $+38 \times 10^{-6} \text{ emu/mol}$

Na obrázku 15 je horní a spodní díl zápustky. V průběhu experimentu, bude měřen na dolním dílu (pro svou tvarovou složitost) kontaktní tlak, působící mezi nástrojem a výkovkem, efektivní tlak a míra opotřebení nástroje.

Obrázek 16 znázorňuje hotový výkovek dveřního závěsu pro automobilový průmysl.



Obrázek 15: Horní a spodní nástroj zápustky

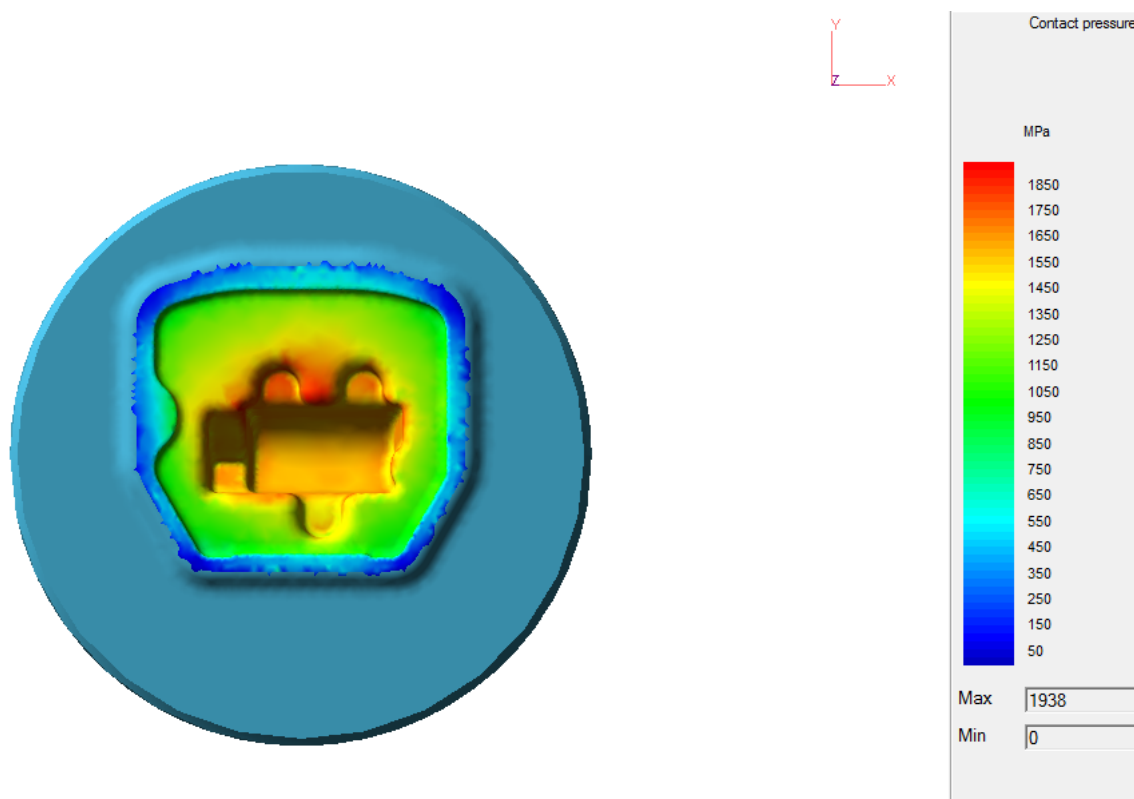


Obrázek 16: Výkovek dveřního závěsu pro automobilový průmysl

6.1. Zápustka volná, nearmovaná

V první fázi experimentu, byla provedena simulace zápustky volně uložené nearmované. Naměřené údaje shrnuty v závěru kapitoly do tabulky 4.

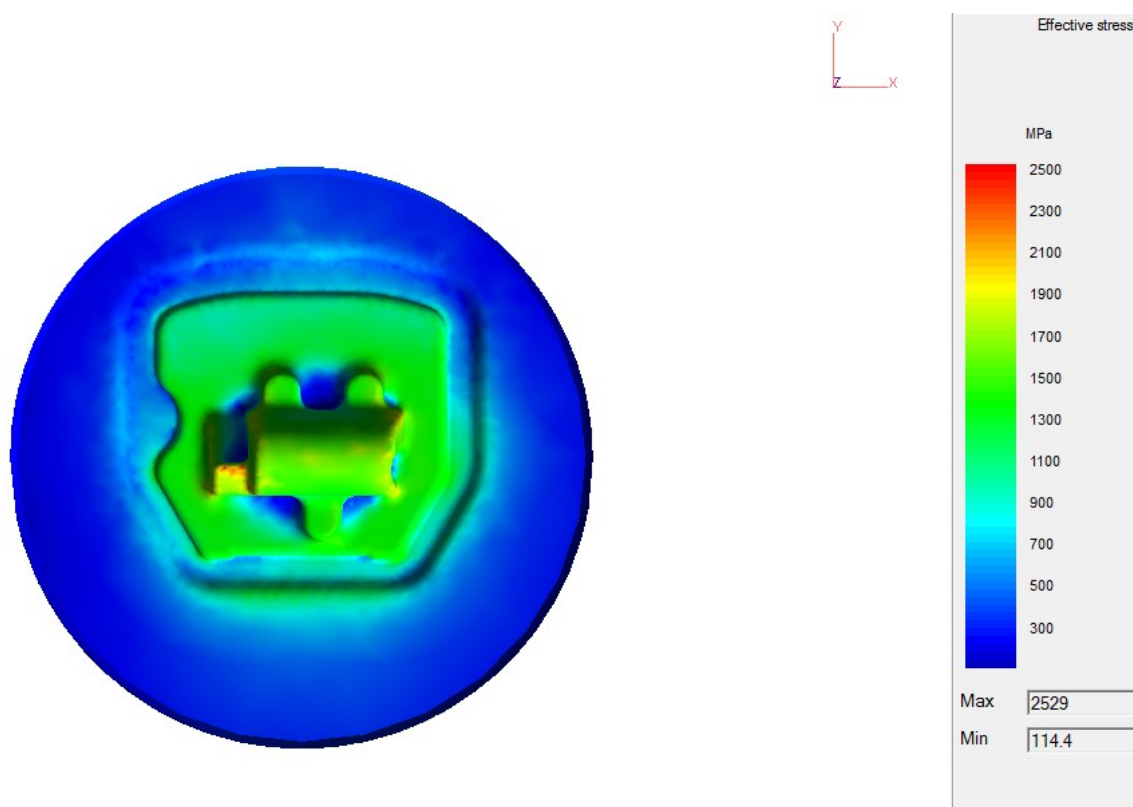
Kontaktní tlak p [MPa] dutiny zápustky volné - bez úprav znázorňuje obrázek 17:



Obrázek 17: Kontaktní tlak – zápustka dolní původní

Kontaktní tlak p v rozsahu 0 MPa až 1938 MPa v nejvíce namáhaných částech nástroje.

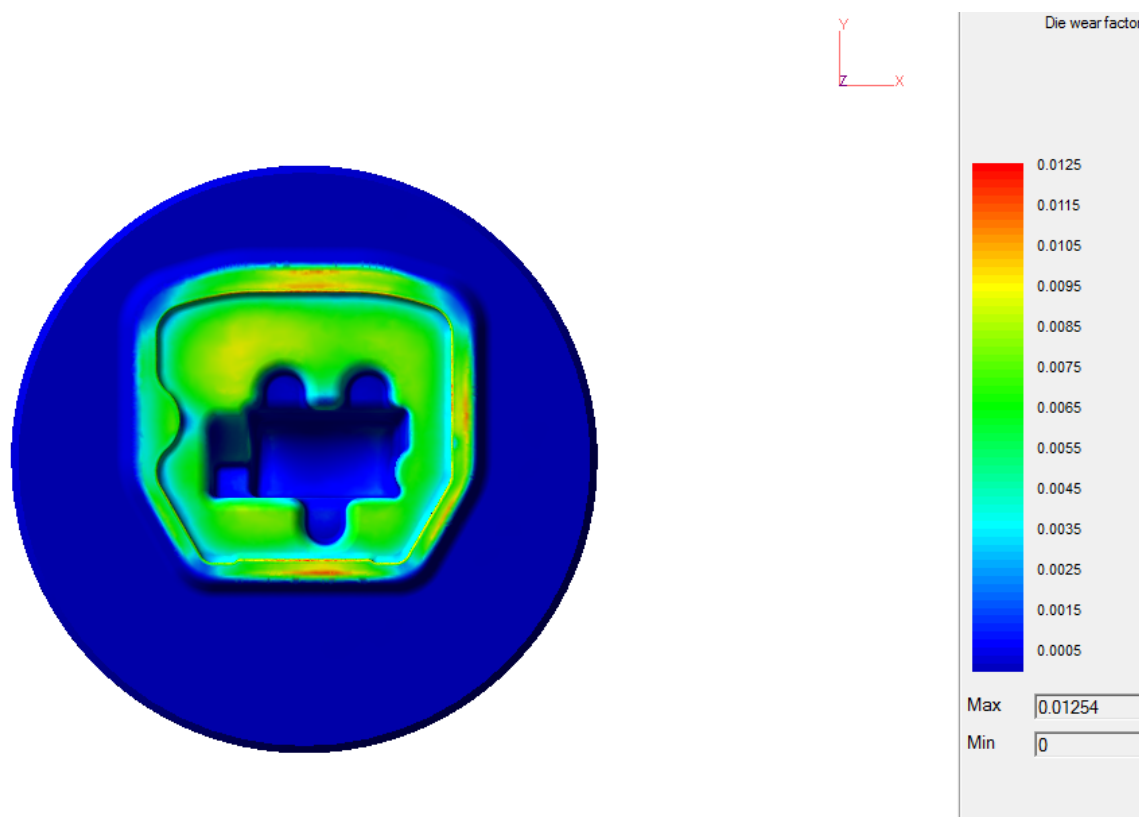
Efektivní napětí σ^- [MPa] nástroje zápustky volné - bez úprav
znázorňuje obrázek 18:



Obrázek 18: Efektivní napětí – zápustka dolní původní

Efektivní napětí v nástroji zápustky σ^- , byly odečtené ze simulace kování
v rozsahu **114,4 MPa** až **2529 MPa**.

Faktor opotřebení dolní části zápustky volné – bez úprav obrázek 19:



Obrázek 19: Faktor opotřebení – zápustka dolní původní

Faktor opotřebení nejvíce namáhaných části nástroje dosáhl hodnoty **0,01254**.

Shrnutí naměřených hodnot, seřazeno v tabulce 4:

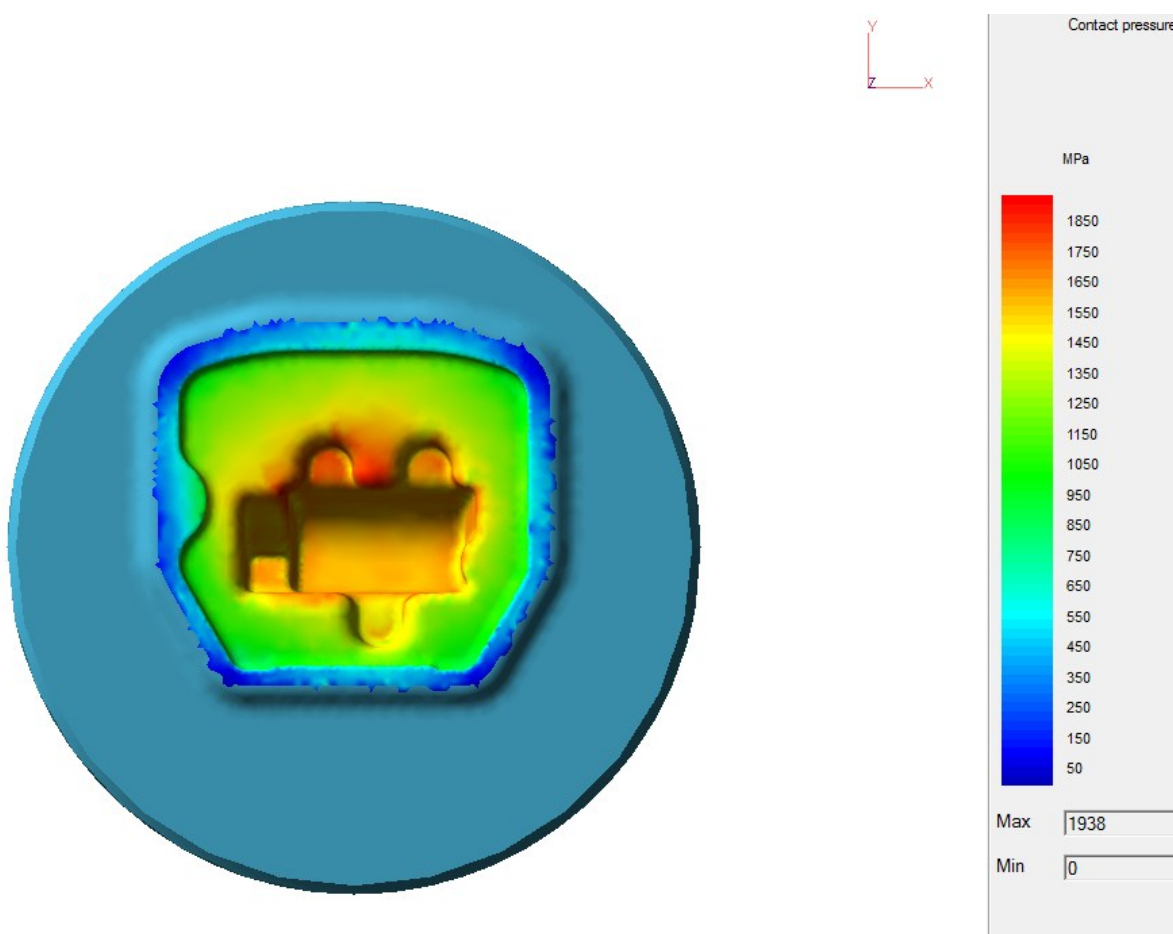
Tabulka 4: Naměřené hodnoty kování v zápustce volné – bez úprav

Zápustka volná	<i>Kontaktní tlak [MPa]</i>	<i>Efektivní napětí [MPa]</i>	<i>Faktor opotř. [-]</i>
<i>Min.</i>	0	114,4	0
<i>Max.</i>	1938	2529	0,01254

6.2. Zápustka armovaná – bandážovaná, s předpětím

V druhé fázi experimentu, byla provedena simulace zápustky armované - bandážované. Naměřené údaje shrnuty v závěru kapitoly do tabulky 5.

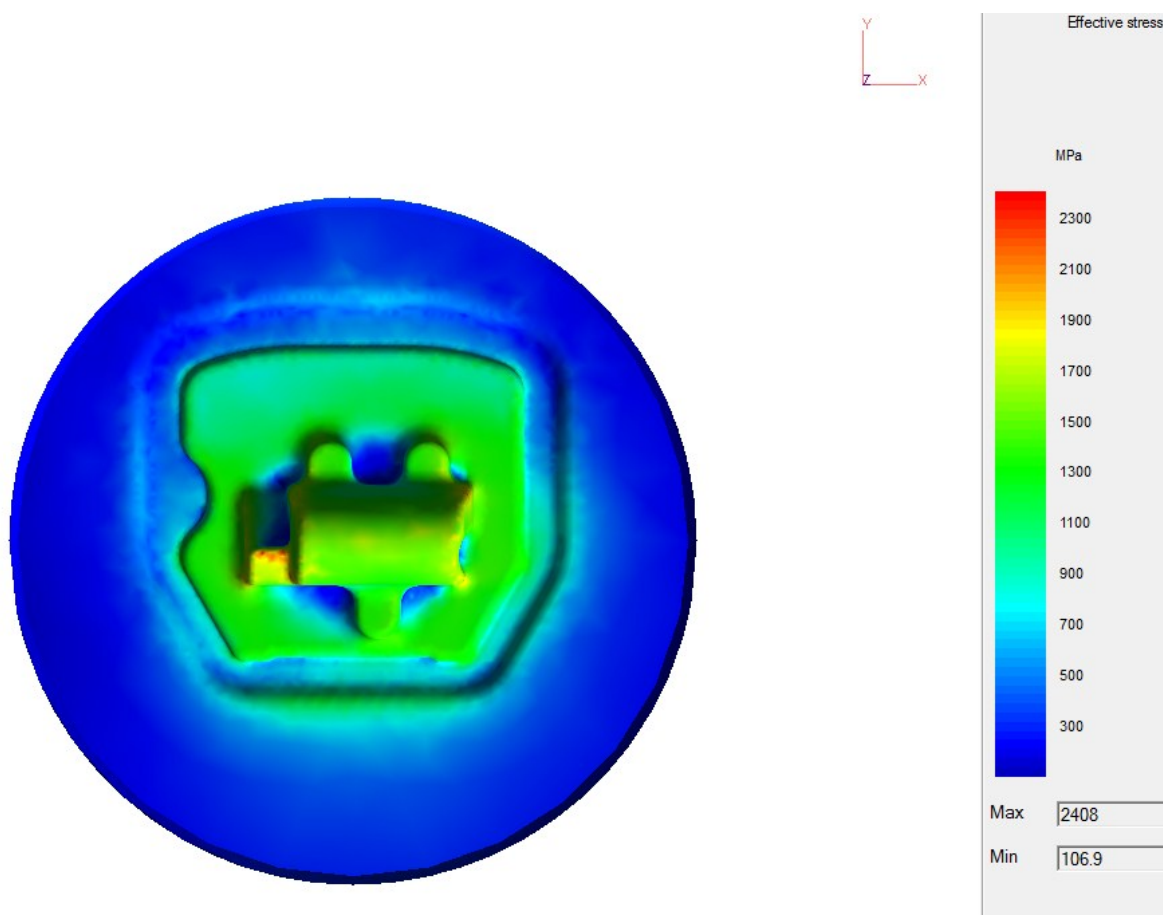
Kontaktní tlak p [MPa] dutiny zápustky armované - bandážované, s předpětím obrázek 20:



Obrázek 20: Kontaktní tlak – zápustka dolní armovaná

Kontaktní tlak p v rozsahu 0 MPa až 1938 MPa v nejvíce namáhaných částech nástroje.

Efektivní napětí σ^- [MPa] nástroje zápustky armované – bandážované
znázorňuje obrázek 21:

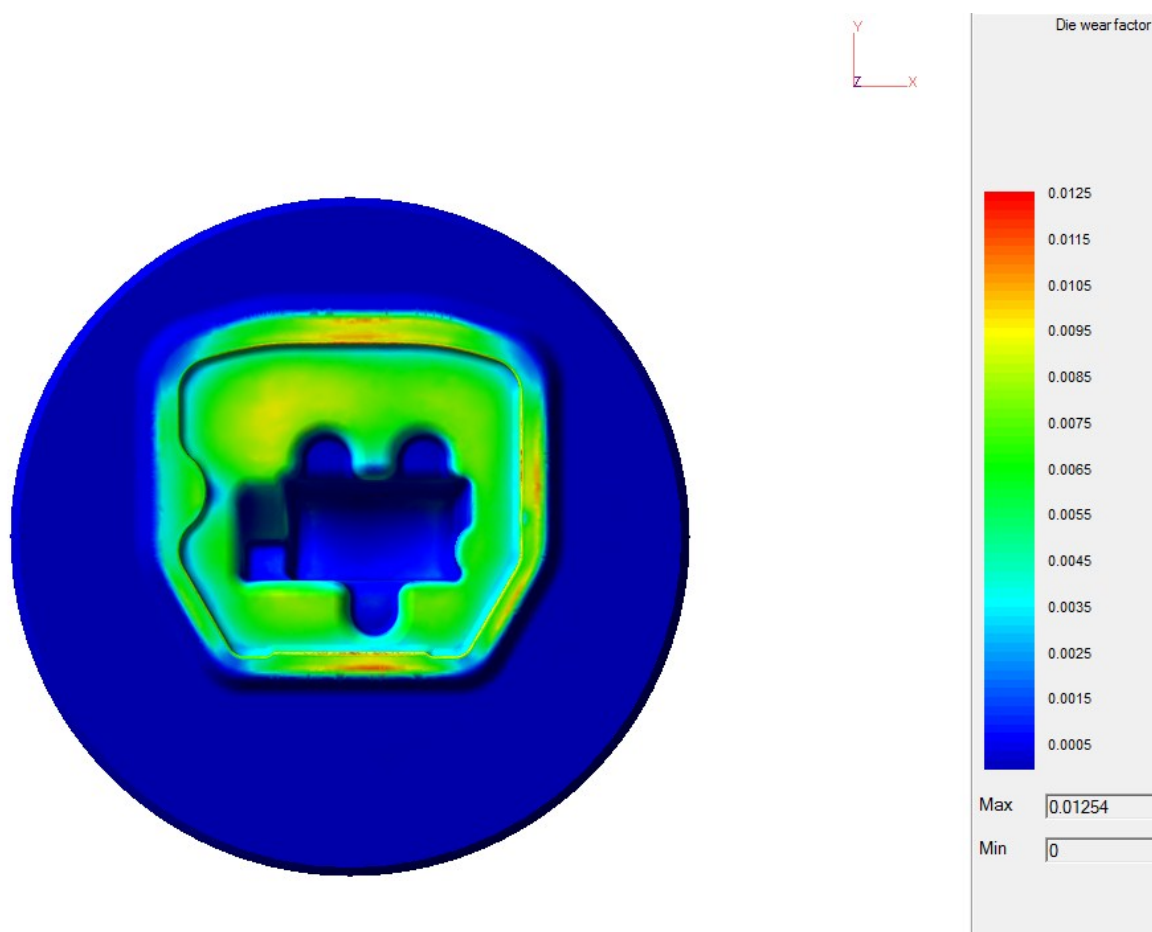


Obrázek 21: Efektivní napětí – zápustka dolní armovaná

Efektivní napětí v nástroji zápustky σ^- , byly odečtené ze simulace kování
v rozsahu **106,9 MPa** až **2408 MPa**.

Faktor opotřebení dolní části zápustky armované – bandážované obrázek

22:



Obrázek 22: Faktor opotřebení – zápustka dolní armovaná

Faktor opotřebení nejvíce namáhaných části nástroje dosáhl hodnoty **0,01254**.

Shrnutí naměřených hodnot, seřazeno v tabulce 5:

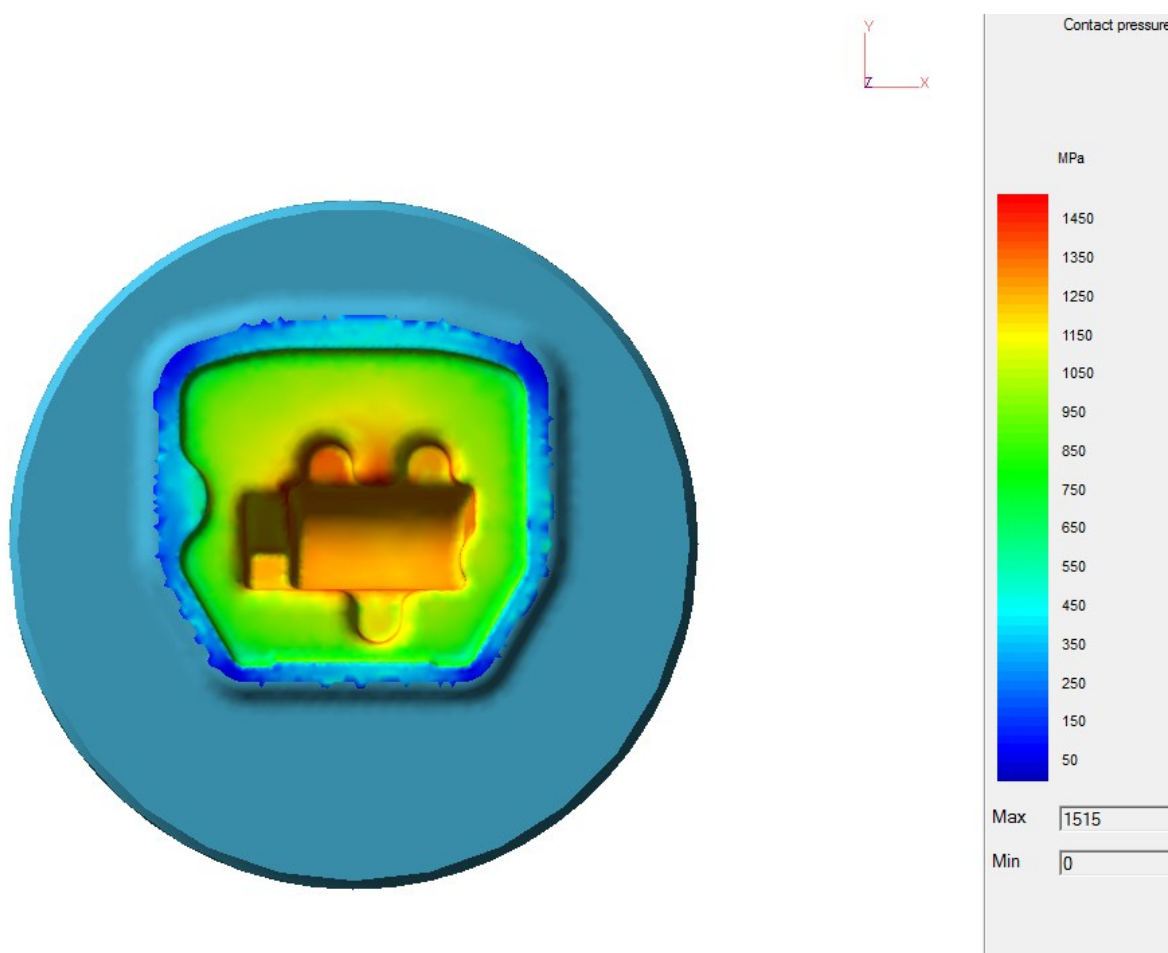
Tabulka 5: Naměřené hodnoty kování v zápustce armované

Zápustka armovaná	<i>Kontaktní tlak [MPa]</i>	<i>Efektivní napětí [MPa]</i>	<i>Faktor opotř. [-]</i>
Min.	0	106,9	0
Max.	1938	2408	0,01254

6.3. Zápustka armovaná, povlakovaná PVD

V případech původní a armované zápustky byly výpočtové hodnoty téměř shodné. Přistoupili jsme k nanesení povlaku **PVD**. Na armovanou zápustku byl nanesen povlak **TiCN**.

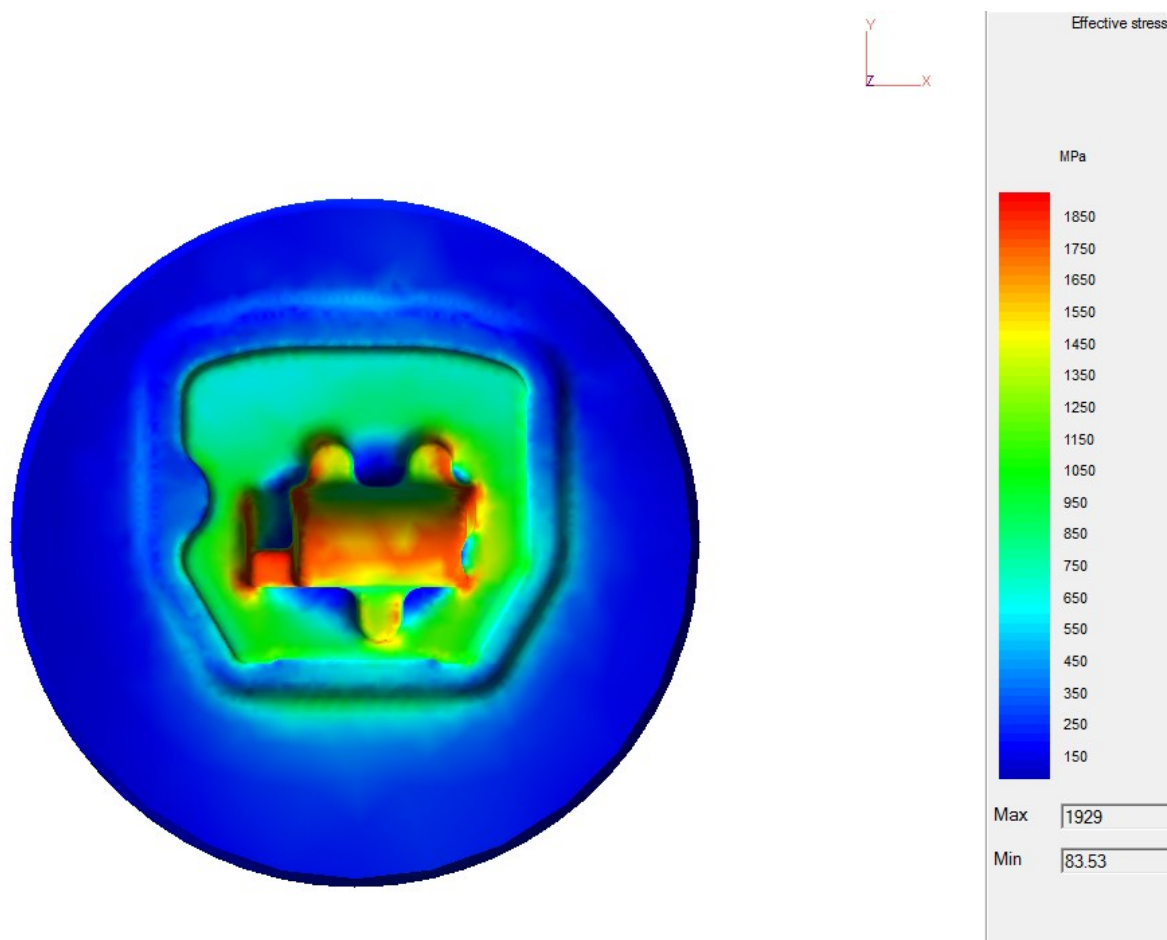
Kontaktní tlak p [MPa] dutiny zápustky armované, s předpětím, povlakované vrstvou **TiCN** obrázek 23:



Obrázek 23: Kontaktní tlak – zápustka dolní armovaná PVD

Kontaktní tlak p v rozsahu 0 MPa až 1515 MPa v nejvíce namáhaných částech nástroje.

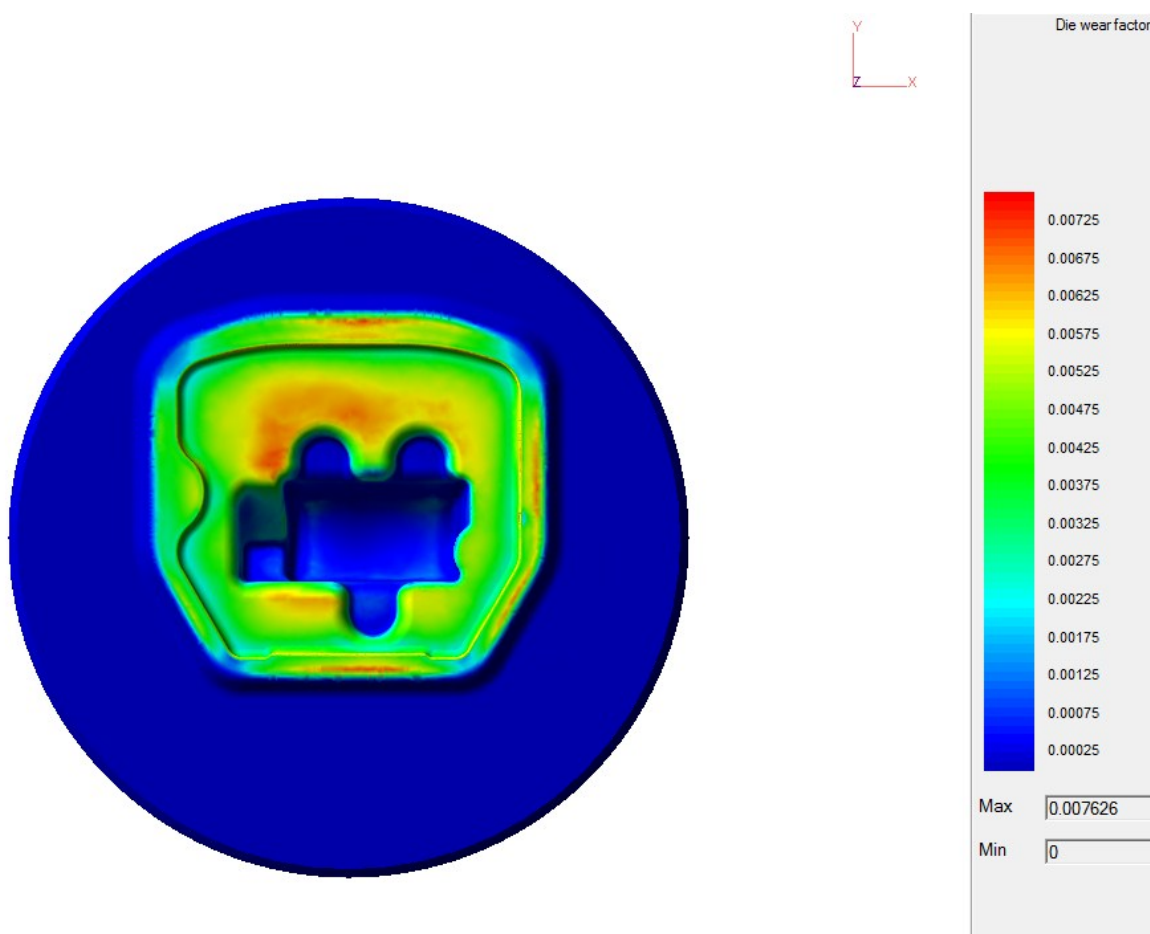
Efektivní napětí σ^- [MPa] nástroje zápustky armované, s předpětím, povlakované vrstvou TiCN znázorňuje obrázek 24:



Obrázek 24: Efektivní napětí – zápustka dolní armovaná PVD

Efektivní napětí v nástroji zápustky σ^- , byly odečtené ze simulace kování v rozsahu **83,53 MPa** až **1929 MPa**.

Faktor opotřebení dolní části zápustky armované, s předpětím, povlakované TiCN obrázek 25:



Obrázek 25: Faktor opotřebení – zápustka dolní armovaná PVD

Faktor opotřebení nejvíce namáhaných části nástroje dosáhl hodnoty 0,007626.

Shrnutí naměřených hodnot, seřazeno v tabulce 6:

Tabulka 6: Naměřené hodnoty kování v zápustce armované povlakované TiCN

Armovaná, povlakovaná	Kontaktní tlak [MPa]	Efektivní napětí [MPa]	Faktor opotř. [-]
Min.	0	83,53	0
Max.	1515	1929	0,007626

6.4. Vyhodnocení dosažených výsledků

Z naměřených hodnot byla sestavena tabulka a graf pro porovnání údajů. Hodnoty jsou seřazeny podle způsobu úpravy zápustky tabulka 7. Materiál nástroje 19 740, povlak TiCN. Kovaný materiál S355J0. Kovací lis LZK 4000. Mazání směsí grafit + voda. Teplota předehřevu kovaného materiálu 800 °C. Teplota předehřevu nástroje zápustky 250 °C, chlazení prováděno vzduchem.

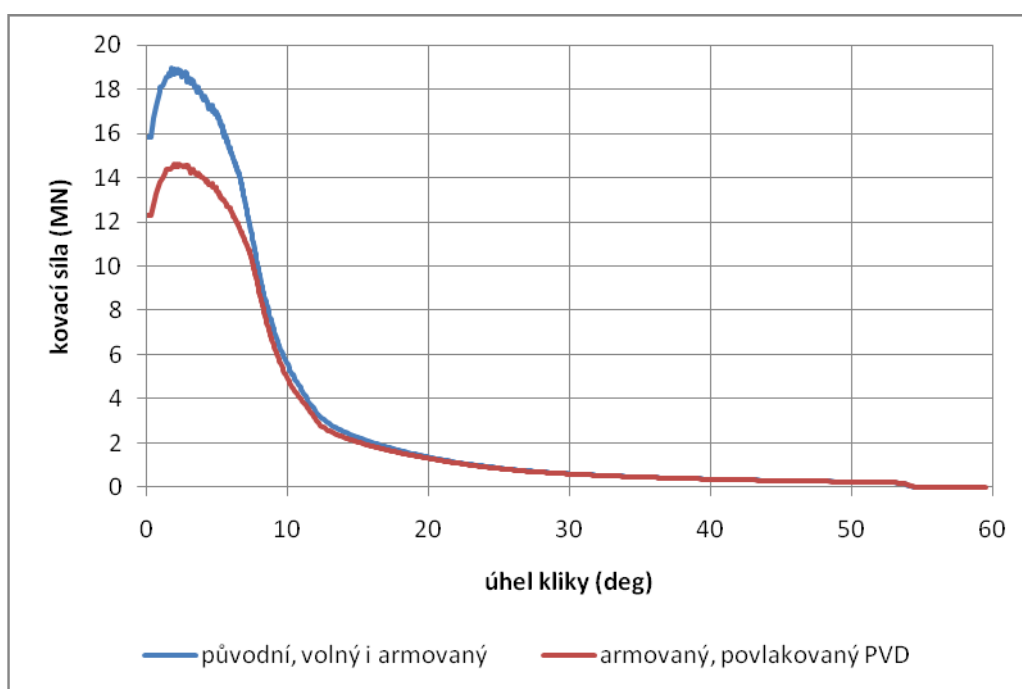
Tabulka 7: Naměřené hodnoty kontaktního tlaku, efektivního napětí a faktoru opotřebení nástroje zápustky dle provedených úprav

Zápustka volná	<i>Kontaktní tlak [MPa]</i>	<i>Efektivní napětí [MPa]</i>	<i>Faktor opotř. [-]</i>
<i>Min.</i>	0	114,4	0
<i>Max.</i>	1938	2529	0,01254
Zápustka armovaná	<i>Kontaktní tlak [MPa]</i>	<i>Efektivní napětí [MPa]</i>	<i>Faktor opotř. [-]</i>
<i>Min.</i>	0	106,9	0
<i>Max.</i>	1938	2408	0,01254
Armovaná, povlakovaná	<i>Kontaktní tlak [MPa]</i>	<i>Efektivní napětí [MPa]</i>	<i>Faktor opotř. [-]</i>
<i>Min.</i>	0	83,53	0
<i>Max.</i>	1515	1929	0,007626

Z tabulky jsou patrné rozdíly, které přispějí k návrhu vhodné úpravy zápustky. Zápustka volná – bez úprav, vykazovala přibližně shodné údaje ze zápustkou armovanou – s předpětím. Rozdíl byl zaznamenán jen v efektivním napětí nástroje zápustky dolní, a to poklesem minimální hodnoty o 7,5 MPa a maximální o 121 MPa.

Největší poklesy všech hodnot, byly zaznamenány po povlakování TiCN armované zápustky. Porovnáváme hodnoty volné zápustky a armované povlakované. V tomto případě se jedná o pokles kontaktního tlaku o 423 MPa, efektivního napětí o 600 MPa. Faktor opotřebení klesl z 0,01254 na 0,007626.

Graficky znázorněny kovací síly působící na nástroj volný, armovaný a armovaný povlakovaný obrázek 26.



Obrázek 26: Kovací síly působící na nástroj

Z obrázku je patrné, že se spojnice pro síly volného i armovaného nástroje se překrývají, jsou shodné. Oproti tomu síly působící na armovanou povlakovanou zápustku, jsou mnohem nižší.

Tímto můžeme z jistotou říci, že povlakování na armované zápustce má za následek její zvýšení životnosti oproti nástroje bez úprav.

8. ZÁVĚR

Objemové tváření za tepla kovááním je považované za progresivní výrobní technologii. Jedním z jeho zvlášť sledovaným parametrem je životnost hlavního kovacího nástroje, kterým je zápustka. V minulosti se tomuto parametru nevěnovala dostatečná pozornost a to hlavně z důvodů nízkých energetických a výrobních nákladů na výrobu zápustek. V současnosti však cena energie, materiálu a ostatní náklady na výrobu několikanásobně vzrostly a proto vystoupil do popředí požadavek na řešení životnosti nástrojů s cílem maximálního prodloužení času jejich využití ve výrobním procesu. Náklady spojené s častou výměnou nástrojů totiž bývají neúměrně vysoké. Z těchto důvodů mnoho kováren v posledních letech investuje nemalé částky do vývoje řešení pro zvýšení životnosti kovacíh zápustek.

Udržet si své postavení a konkurenceschopnost v trvale měnícím se ekonomickém prostředí, znamená neustálé hledání výrobních alternativ a hospodárnějších způsobů výroby za přispění moderních technologií. Tato cesta je nezbytná ale zároveň finančně velmi náročná.

Seznam použitých pramenů

- [1] KOCMAN,K.-NĚMEČEK,P. A KOL. : *Aktuální příručka pro technický úsek*. SAMEK, R. :Část 8-Tváření. Verlag Dashöfer, rok 1998, ISBN 80-902247-2-5
- [2] NĚMEC, J. *Tuhost a pevnost ocelových součástí*. Praha 1963. Nakladatelství Československé akademie věd. vyd. 2. 771 s.
- [3] FAJT, J., NOVÝ, Z., ŠUCHMANN, P.: *Moderní materiálová řešení pro zvýšení životnosti kovacích zápusťek*. Sborník přednášek 5. Kovářenská konference, Ostrava: Svaz kováren ČR, Květen 2005, s. 123-128.
- [4] SERVÍT, R. aj.: *Teorie pružnosti a plasticity II*. Praha, SNTL 1984. 424 s.
- [5] NĚMEC, J. aj.: *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. Praha, SNTL 1989. 600 s.
- [6] ČSN 41 9740: *Ocel 19 740, W-Cr-Si-V*. Účinnost od 1.1.1971
- [7] STONE, D. S.; K. B. YODER; W. D. SPROUL (1991). *"Hardness and elastic modulus of TiN based on continuous indentation technique and new correlation"*. Journal of Vacuum Science and Technology A 9 (4): 2543–2547.
- [8] HUGH O. PIERSON (1996). *Handbook of refractory carbides and nitrides: properties, characteristics, processing, and applications*. WILLIAM ANDREW. p. 193. ISBN 0815513925